

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DES PÂTES ET PAPIERS**

**PAR
PIYAPORN PAIROTPITUKKUL**

BLANCHIMENT DE LA PÂTE DÉSENCRÉE

FÉVRIER 2007

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

Remerciements

Je voudrais d'abord remercier très sincèrement mon directeur Dr Claude Daneault et mon co-directeur Dr Bruno Chabot pour l'orientation de mon projet, leurs conseils précieux ainsi que l'aide nécessaire à réaliser ce projet.

Je tiens à remercier spécialement Madame Céline Leduc pour son expérience, sa grande disponibilité, sa confiance, son aide, sa patience, son support et son soutien moral qui ont été fortement appréciés.

J'aimerais aussi remercier mes parents, mes tantes, mes grands parents ainsi que mes cousins pour leurs encouragements et leur soutien constants.

Je tient également à remercier Louis Philippe de Serre pour son aide, ses conseils précieux, ses encouragements, sa constante collaboration, son humour et son soutien tout au long de mes études.

Je remercie également mes amis et tout le personnel du Centre de recherche en pâtes et papiers pour leur constante collaboration.

Finalement, je remercie sincèrement le Conseil National de la recherche en sciences naturelles et en génie du Canada pour sa contribution financière à ce projet.

Résumé

Le peroxyde d'hydrogène est un agent oxydant très efficace pour éliminer la coloration de la pâte recyclée contenant des vieux journaux et vieux magazines. Il modifie les groupements chromophores de la lignine sans en détériorer les propriétés mécaniques. Dans le blanchiment conventionnel d'une pâte désencrée en tour, la température utilisée est généralement de 70 °C à une consistance moyenne (15-20%) et à une concentration en peroxyde de 1 à 3%. Dans notre étude, nous avons évalué la possibilité de blanchir la pâte désencrée avec le peroxyde d'hydrogène en tour de en utilisant une température de 85 °C avec un temps de séjour de 60 minutes et une concentration en peroxyde de 3% et ce à une consistance de 26%. Le silicate de sodium et le DTPA étant incorporés dans la liqueur de blanchiment aux mêmes concentrations que le blanchiment conventionnel.

Les résultats obtenus, nous montrent que la concentration d'hydroxyde de sodium 0,9 % nous permet d'obtenir le meilleur niveau de blancheur soit 66,3% ISO, un gain de blancheur de 6 points comparativement à la pâte originale. La valeur de ERIC augmente légèrement avec l'accroissement de la concentration d'hydroxyde de sodium puisque ceci entraîne plus de décrochage et de fractionnement des particules d'encre. Le blanchiment n'a aucun impact sur la valeur de ERIC.

L'utilisation d'un réacteur de type Quantum afin de simuler un disperseur «disperger» ne permet pas d'obtenir un niveau de blancheur plus élevé. Ce type de réacteur n'a pas d'influence sur l'enlèvement des particules d'encres.

Le traitement de la pâte par un hyper lavage après le blanchiment permet de diminuer significativement la concentration en encre résiduelle et d'augmenter le niveau de blancheur de la pâte.

Le fractionnement des pâtes démontre une diminution considérable de la valeur de ERIC et une augmentation remarquable du niveau de blancheur.

Le blanchiment à haute température et à haute consistance permet dans un premier temps de réduire significativement la concentration d'hydroxyde de sodium (64%), ce résultat a un impact considérable sur la réduction de la charge d'effluent ; et dans un deuxième temps d'augmenter le niveau de blancheur comparativement aux résultats obtenus lors du blanchiment à basse consistance.

Mot clés

Blanchiment, pâte désencrée, peroxyde d'hydrogène, température, consistance, décrochage, encre résiduelle, journal, magazine, oxydant

Table des Matières

Remerciements	ii
Résumé	iii
Table des Matières	v
Liste des Figures.....	ix
Liste des Tableaux.....	xi
Liste des Équations	xii
Liste des Abréviations.....	xiv
Chapitre 1 - Introduction.....	1
Chapitre 2 - Revue littérature	7
2.1 Importance du blanchiment de la pâte désencrée.....	7
2.1.1 Agents de blanchiment	7
2.1.2 Points d'addition de l'agent de blanchiment	8
2.1.3 Blanchiment dans un tritrateur.....	8
2.1.4 Blanchiment avant l'étape de flottation	9
2.1.5 Blanchiment après l'étape de flottation	10
2.2 Blanchiment de la pâte désencrée de vieux papiers journaux et de vieux magazine	11
2.2.1 Blanchiment par oxydation.....	11
2.2.2 Groupements chromophores.....	12
2.2.3 Peroxyde d'hydrogène	13
2.2.4 Cinétique et stoechiométrie du blanchiment avec le peroxyde.....	18
2.2.5 Conditions de blanchiment	20
2.3 Facteurs affectant le blanchiment au peroxyde d'hydrogène	20
2.3.1 Encre résiduelle	21

2.3.2	Prétraitement de la pâte par un agent séquestrant.....	22
2.3.3	Consistance de la pâte.....	23
2.3.4	Rapport d'alcalinité et pH.....	25
2.3.5	Température et temps de rétention.....	27
2.3.6	Peroxyde résiduel et neutralisation.....	28
2.4	Pourquoi blanchir la pâte à haute température.....	28
2.5	Propriétés optiques du papier.....	29
2.5.1	Blancheur ISO.....	29
2.5.2	Coordonnée de couleur (système CIE L* a* b*).....	30
2.5.3	Concentration effective en encre résiduelle (ERIC).....	32
Chapitre 3 - Matériels et Méthodologies expérimentales.....		34
3.1	Méthodologie.....	34
3.1.1	Siccité de la pâte.....	35
3.1.2	Prétraitement de la pâte.....	35
3.1.3	Dosage du peroxyde d'hydrogène.....	36
3.1.4	Détermination de la concentration en ions métalliques.....	37
3.1.5	Détermination des propriétés optiques.....	37
3.2	Blanchiment au peroxyde d'une pâte désencrée non-traitée et prétraitée au DTPA dans un mélangeur Hobart.....	38
3.2.1	Évaluation des concentrations en hydroxyde de sodium.....	38
3.3	Blanchiment dans un réacteur Quantum.....	40
3.3.1	Variation de la vitesse de rotation du réacteur Quantum.....	41
3.3.2	Variation du temps de réaction dans le réacteur.....	41
3.3.3	Variation de la température et du temps de rétention.....	41
3.4	Hyper lavage.....	42
3.4.1	Principe.....	42
3.4.2	Procédure.....	42
3.4.3	Blanchiment de la pâte dans le réacteur Quantum suivi d'un hyper lavage.....	43
3.4.4	Décrochage de l'encre provoqué par le réacteur Quantum et blanchiment.....	44
3.5	Addition de l'acide oléique dans la liqueur du blanchiment.....	45

3.5.1	L'acide oléique	45
3.5.2	Conditions de blanchiment	46
3.6	Fractionnement de la pâte désencrée et blanchiment des fibres fractionnées	47
3.6.1	Principe et appareil	47
3.6.2	Procédure	48
Chapitre 4 - Résultats et discussions.....		51
4.1	Partie I : Efficacité du blanchiment au peroxyde sur la pâte non-traitée et la pâte prétraitée au DTPA dans un mélangeur Hobart.....	51
4.1.1	Impact de l'hydroxyde de sodium sur les propriétés optiques.....	51
4.1.2	Niveau de blancheur (% ISO).....	51
4.1.3	Coordonnée de couleur b*	54
4.1.4	Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)	56
4.1.5	Consommation du peroxyde d'hydrogène	57
4.2	Partie II : Efficacité du blanchiment dans un réacteur Quantum	58
4.2.1	Efficacité du blanchiment dans le réacteur Quantum avec une variation du nombre de révolutions	59
4.2.2	Niveau de blancheur ISO avec le réacteur Quantum	59
4.2.3	Coordonnée de couleur b*	62
4.2.4	Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)	63
4.2.5	Efficacité du blanchiment dans le réacteur Quantum en fonction du temps de réaction.....	64
4.2.6	Blancheur ISO en fonction du temps de réaction	64
4.2.7	Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)	65
4.2.8	Consommation du peroxyde d'hydrogène	66
4.2.9	Efficacité du blanchiment au Quantum avec changement de la température et du temps de rétention	66
4.2.10	Niveau de blancheur à une température de 95°C.....	67
4.2.11	Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)	69
4.2.12	Consommation du peroxyde résiduelle.....	70
4.3	Partie III : Hyper lavage	71
4.3.1	Hyper lavage des pâtes blanchies en fonction de la variation de la température de réaction	72

4.3.2	Blancheur et luminosité (Coordonnée de couleur L*).....	72
4.3.3	Coordonnée de couleur b*	74
4.3.4	Impact de l'hyper lavage sur ERIC	75
4.3.5	Hyper lavage des pâtes blanchies et non-blanchies	76
4.3.6	Concentration effective en encre résiduelle.....	78
4.4	Partie IV : Efficacité du blanchiment avec une addition d'acide oléique dans la liqueur de blanchiment.....	79
4.4.1	Blancheur.....	79
4.4.2	Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)	80
4.5	Partie V : Efficacité du blanchiment des fibres fractionnées	80
4.5.1	Blancheur ISO.....	81
4.5.2	Coordonnée de couleur b*	83
4.5.3	Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)	84
4.5.4	Consommation du peroxyde d'hydrogène	85
Chapitre 5 - Conclusions.....		87
Bibliographie.....		91

Liste des Figures

Figure 1.1	États américains possédant la loi sur le contenu en recyclé	1
Figure 1.2	Taux de récupération du papier au Canada	3
Figure 1.3	Usages de vieux papiers journaux aux États-Unis	4
Figure 1.4	Teneur en pâtes mécaniques en fonction de la blancheur.....	5
Figure 2.1	Points d'addition des agents de blanchiment pour la pâte désencrée.	9
Figure 2.2	Groupements chromophores de la lignine	12
Figure 2.3	Influence de la conjugaison sur la coloration des composés	13
Figure 2.4	Dissociation du peroxyde en fonction du pH et de la température.....	14
Figure 2.5	Réactions de l'anion perhydroxyle sur des composés aldéhydiques	15
Figure 2.6	Réaction de l'ion perhydroxyle sur une liaison double	16
Figure 2.7	Réaction de l'ion perhydroxyle avec les carbonyles.....	16
Figure 2.8	Réactions d'élimination de la couleur de la lignine avec le peroxyde.....	17
Figure 2.9	Divers types d'agent séquestrant utilisés lors du prétraitement.....	24
Figure 2.10	Relation entre température, temps de rétention et alcalinité	27
Figure 2.11	Mesure de la blancheur.....	30
Figure 2.12	Coordonnées de couleur CIE L* a* b*	31
Figure 3.1	Schéma du procédé global de la première et la deuxième partie.....	34
Figure 3.2	Mélangeur de laboratoire Hobart.....	39
Figure 3.3	Réacteur Quantum utilisé pour le blanchiment dans la seconde partie ...	40
Figure 3.4	Britt Jar modifié pour l'hyper lavage de la pâte désencrée.....	42
Figure 3.5	Appareil DDJ utilisé pour l'hyper lavage dans notre étude.....	43
Figure 3.6	Schéma représentant la structure d'acide oléique.....	46
Figure 3.7	Classification Bauer-Mcnett	48
Figure 4.1	Blancheur en fonction de la concentration en NaOH	52
Figure 4.2	Différence de blancheur entre le côté toile et le côté feutre des pâtes blanchies non-traitées	53
Figure 4.3	Différence de blancheur entre le côté toile et le côté feutre des pâtes blanchies prétraitées au DTPA	54
Figure 4.4	Coordonnée de couleur b* en fonction de la concentration en NaOH	55
Figure 4.5	Concentration effective en encre résiduelle en fonction de la concentration en NaOH	56

Figure 4.6	Blancheur en fonction du peroxyde consommé.....	57
Figure 4.7	Niveau de blancheur des pâtes en fonction du nombre de révolutions....	60
Figure 4.8	Effet sur la blancheur de l'eau utilisée dans la fabrication des feuilles...	61
Figure 4.9	Effet de l'eau dans la fabrication des feuilles sur la coordonnée b^*	62
Figure 4.10	Encre résiduelle des pâtes blanchies dans le réacteur Quantum en fonction du nombre de révolution	63
Figure 4.11	Niveau de blancheur obtenu dans une réacteur Quantum en fonction du temps de réaction.....	64
Figure 4.12	ERIC des pâtes blanchies dans le réacteur Quantum en fonction du temps de réaction	65
Figure 4.13	Niveau de blancheur et de peroxyde consommé en fonction du temps de réaction	67
Figure 4.14	Blancheur des pâtes blanchies au Quantum à 95°C avec changement du temps de rétention.....	68
Figure 4.15	ERIC des pâtes blanchies à 95 °C dans le réacteur Quantum en fonction du temps de réaction	69
Figure 4.16	Efficacité du blanchiment en fonction de la blancheur et de la consommation en peroxyde	70
Figure 4.17	Impact de l'hyper lavage de la pâte blanchie sur la blancheur	72
Figure 4.18	Impact d'hyper lavage de la pâte blanchie sur la luminosité	73
Figure 4.19	Impact de l'hyper lavage de la pâte blanchie sur la coordonnée de couleur b^*	74
Figure 4.20	Impact d'hyper lavage sur la concentration effective en encre résiduelle	75
Figure 4.21	Impact de la température et de la liqueur de blanchiment sur la blancheur	77
Figure 4.22	Impact de la température et de la liqueur de blanchiment sur la coordonnée de couleur b^*	78
Figure 4.23	Impact de la température et de la liqueur de blanchiment sur ERIC	78
Figure 4.24	Impact de l'acide oléique dans la liqueur sur la blancheur.....	79
Figure 4.25	Impact de l'acide oléique ajouté dans la liqueur sur ERIC.....	80
Figure 4.26	Blancheur de la pâte originale et de ses fractions.....	81
Figure 4.27	Coordonnée de couleur b^* de la pâte originale et de ses fractions	84
Figure 4.28	Concentration effective en encre résiduelle de la pâte originale et de ses fractions	85
Figure 4.29	Efficacité du blanchiment de la pâte originale et de ses fractions.....	85

Liste des Tableaux

Tableau 1.1	Teneur minimale en fibres recyclées selon l’U.S. EPA.....	2
Tableau 1.2	Source des matières premières pour le papier et le carton.....	3
Tableau 2.1	Blanchiment des pâtes désencrées à forte teneur en fibres mécaniques ..	8
Tableau 2.2	Conditions conventionnelles du blanchiment au peroxyde	20
Tableau 3.1	Teneur en métaux des pâtes non-traitée et prétraitée.....	36
Tableau 3.2	Conditions opérationnelles de la première partie utilisés lors du blanchiment	38
Tableau 3.3	Conditions de blanchiment d’une pâte hyper lavée dans le réacteur Quantum	44
Tableau 3.4	Conditions des essais avant l’hyper lavage	45
Tableau 3.5	Conditions de blanchiment en présence d’acide oléique.....	47
Tableau 3.6	Essais de blanchiment en fonction des fractions de la pâte désencrée ..	49
Tableau 4.1	Comparaison de la blancheur entre trois séries	68
Tableau 4.2	Comparaison de la blancheur maximale entre 4 procédés	71
Tableau 4.3	Blancheur ISO de la pâte non-fractionnée et ses fractions	82
Tableau 4.4	Comparaisons des procédés de blanchiment à basse et à haute consistance.....	83

Liste des Équations

$H_2O_2 \rightleftharpoons HOO^- + H^+$	Équation 2.1..... 14
$H_2O_2 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OOH^-$	Équation 2.2..... 14
$H_2O_2 + OH^- \rightleftharpoons HOO^- + H_2O$	Équation 2.3..... 15
$H_2O_2 + NaOH \xrightarrow{40-80^\circ} HOO^- + Na^+ + H_2O$	Équation 2.4..... 15
$H_2O_2 + NaOH \xrightarrow{(M^+)} NaOOH + H_2O$	Équation 2.5..... 17
$NaOOH \rightarrow NaOH + \frac{1}{2}O_2$	Équation 2.6..... 17
$H_2O_2 + HOO^- \rightarrow O_2 + HO^- + H_2O$	Équation 2.7..... 18
$H_2O_2 + M^{n+} \rightarrow M^{(n+1)+} + OH^- + OH^\circ$	Équation 2.8..... 18
$HOO^- + M^{(n+1)+} + HO^- \rightarrow M^{n+} + H_2O + O_2^\circ$	Équation 2.9..... 18
$M^{(n+1)+} + O_2^\circ \rightarrow O_2 + M^{n+}$	Équation 2.10..... 18
$O_2^\circ + HO^\circ \rightarrow O_2 + HO^-$	Équation 2.11..... 18
$-\frac{dN_{chrom}}{dt} = D \times K_o \times \exp^{-E_a/RT} \times [HOO^-] \times N_{chrom}$	Équation 2.12..... 19
$pH = pK_a + \log \frac{[HOO^-]}{[H_2O_2]}$	Équation 2.13..... 26
$Rapport\ d'\ alcali\ total = \frac{\%NaOH + (0,115 \times \%Na_2SiO_3)}{\%H_2O_2}$	Équation 2.14..... 26
$Na_2S_2O_5 + H_2O \rightarrow 2NaHSO_3$	Équation 2.15..... 28
$2NaHSO_3 \rightarrow Na_2SO_3 + H_2O + SO_2$	Équation 2.16..... 28
$H_2O + SO_2 \rightarrow H_2SO_3$	Équation 2.17..... 28
$H_2O_2 + H_2SO_3 \rightarrow H_2SO_4 + 2H_2O$	Équation 2.18..... 28
$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$	Équation 2.19..... 28
$H_2O_2 + SO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$	Équation 2.20..... 28
$X = 0,783R_x + 0.198R_z$	Équation 2.21..... 32

$$Y = R_y \quad \text{Équation 2.22..... 32}$$

$$Z = 1.182R_z \quad \text{Équation 2.23..... 32}$$

$$L = 10,0Y^{1/2} \quad \text{Équation 2.24..... 32}$$

$$a = 17,5(1.02X - Y) / Y^{1/2} \quad \text{Équation 2.25..... 32}$$

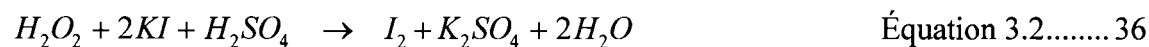
$$b = 7,0(Y - 0,8467Z) / Y^{1/2} \quad \text{Équation 2.26..... 32}$$

$$L^* = 116[(Y / Y_0)^{1/3}] - 16 \quad \text{Équation 2.27..... 32}$$

$$a^* = 500[(X / X_0)^{1/3} - (Y / Y_0)^{1/3}] \quad \text{Équation 2.28..... 32}$$

$$b^* = 200[(Y / Y_0)^{1/3} - (Z / Z_0)^{1/3}] \quad \text{Équation 2.29..... 32}$$

$$\text{Siccité de la pâte, \%} = 100 \times \frac{(W_1' - W_2)}{(W_1 - W_2)} \quad \text{Équation 3.1..... 35}$$



$$Con.H_2O_2(g / L) = \frac{Vol.(Thio)}{Vol.(H_2O_2)} \times N(Thio) \times \frac{0,017}{1méq} \times \frac{1000}{10} \times \frac{1000}{1L} \quad \text{Équation 3.4..... 37}$$

Liste des Abréviations

DTPA	Diéthylènetriaminepentaacétate de sodium
EDTA	Acide tétraacétiqueéthylènediamine
ERIC	Concentration effective en encre résiduelle
ISO	International Standard Organisation
ONP	Vieux papiers journaux
OMG	Vieux magazines

Chapitre 1 - Introduction

De nos jours, le recyclage de produits papetiers est devenu un sujet de plus en plus d'actualité. Les gouvernements et la population sont conscients de l'importance de respecter l'environnement et de freiner le recours à l'enfouissement. Le Canada et les États-Unis ont légiféré concernant le désencrage, surtout pour la teneur en fibres recyclées qui entrent dans la fabrication du papier. La figure 1.1 [1] illustre la teneur minimale en fibres recyclées exigée par certains états américains. Pour la part du Québec, l'industrie des pâtes et papier recyclait des fibres depuis 1960. Au cours des dix dernières années, confrontées à de nouvelles exigences de la part de certains clients concernant le contenu recyclé dans le papier journal, et désireuses de contribuer à la valorisation des résidus, les papetières québécoises ont considérablement accru l'utilisation de vieux papiers et cartons dans leur procédés de fabrication [2-4]. Le tableau 1.1 montre la teneur minimale en fibres recyclées [4].

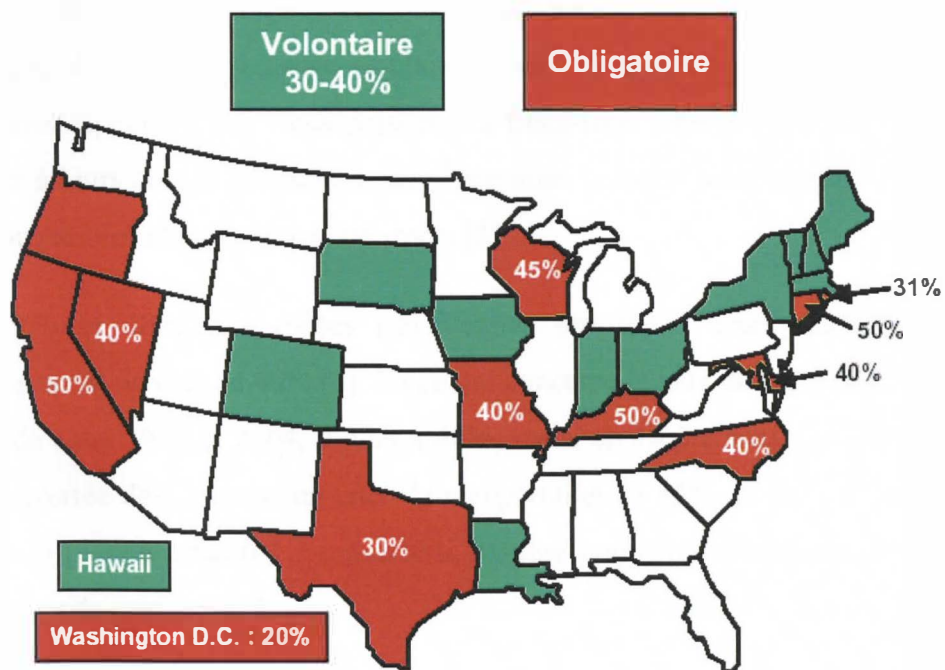


Figure 1.1 États américains possédant la loi sur le contenu en recyclé

Tableau 1.1 Teneur minimale en fibres recyclées selon l'U.S. EPA

Types de papier	Pourcentage minimal de fibres de postconsommation pour l'année 2000
Papier journal	40
Papier hygiénique	20
Essuie-tout	40
Serviette de table	30
Caisses en carton ondulé	35
Papier fin	50

En 1989, une seule usine canadienne fabriquait du papier journal contenant des fibres recyclées, elles sont aujourd'hui au nombre de 22. Au Canada, 63 usines utilisent du papier récupéré pour fabriquer, en tout ou en partie, des papiers d'impression, des emballages, des papiers à usage sanitaire et du papier journal. Plusieurs entreprises canadiennes rapportent des vieux papiers des États-Unis dans les camions qui ont livré du papier à leurs clients américains, réduisant ainsi la quantité de combustibles fossiles non renouvelables utilisés dans le transport [3].

Entre 1996 et 2001, les usines canadiennes ont réduit leurs résidus destinés à l'enfouissement de près de 40% [3]. En ce qui concerne le taux de récupération du papier du Canada entre 1990 et 2004, il était à 46%, mais, on espère atteindre d'ici 2010 avec l'aide concertée des citoyens un taux de récupération de 55% ou davantage si possible (figure 1.2) [5]. Le tableau 1.2 présente la matière première utilisée pour la fabrication du papier ou du carton [6-7].

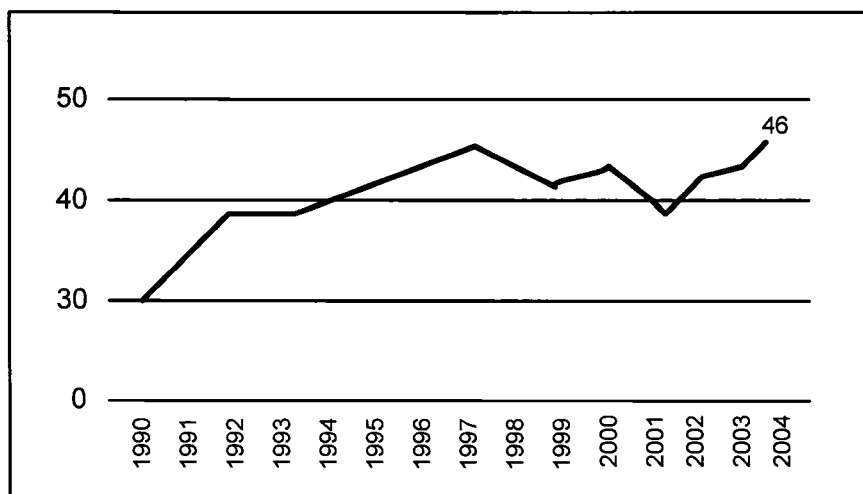


Figure 1.2 Taux de récupération du papier au Canada

Tableau 1.2 Source des matières premières pour le papier et le carton

Année	Bois rond, %	Copeaux, %	Papier recyclé, %
1990	38	51	11
1995	27	51	22
2000	21	55	24
2003	20	56	24

Pour le Québec, une part importante de la production qui sort des usines papetières contient aujourd'hui des fibres désencrées. Ces dernières sont majoritairement intégrées au papier journal (69%) destiné aux États-Unis où, dans certains États, les lois imposent l'intégration de fibres recyclées dans les journaux. Le reste de la pâte désencrée entre dans la composition de papiers tissus et, dans une moindre mesure, de papiers fins et de cartons couchés [2].

Pendant la dernière décennie, il y a eu une forte augmentation de l'utilisation d'ONP (Old NewsPaper) aux États-Unis. Le pourcentage de vieux journaux récupérés s'est

accru de 35% en 1988 à 58% en 1993. Ceci représente plus de 7,4 millions de tonnes de vieux papiers journaux récupérés sur une production total de 12,7 millions de tonnes. Les vieux papiers journaux et les vieux magazines sont majoritairement employés pour produire une pâte recyclée qui servira dans la fabrication de papier journal ou de papiers spécialités. Au début des années 90, environ 34% de la consommation totale de vieux papiers journaux étaient employé dans la production du papier journal (figure 1.3) [8]. Cette nouvelle réalité a eu pour conséquence de réduire l'exportation canadienne de papier journal aux États-Unis. En 1988, 7,0 millions de tonnes étaient exportées aux États-Unis tandis que cinq ans plus tard seulement 5,8 millions de tonnes étaient acheminées vers les États-Unis. Cette variation au niveau de l'exportation a par contre bénéficié aux grades de spécialités et aux papiers impression-écriture [8, 9].

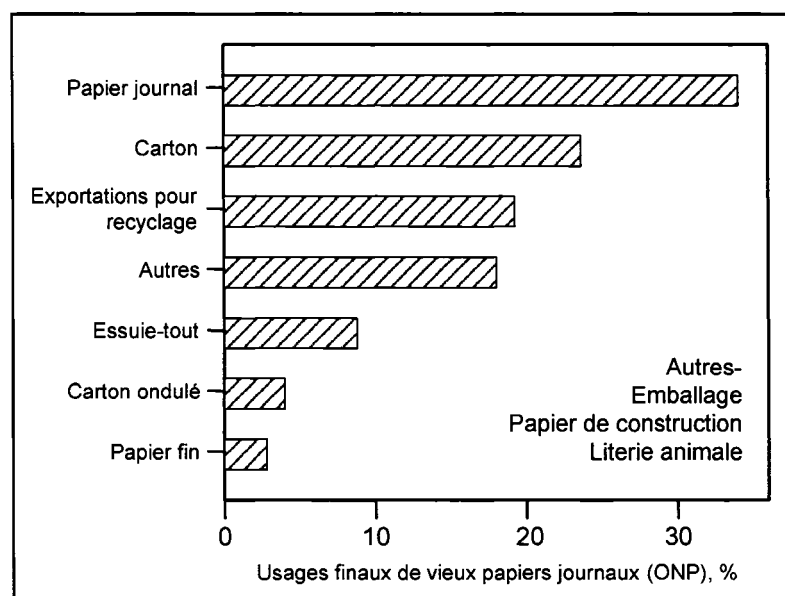


Figure 1.3 Usages de vieux papiers journaux aux États-Unis

Parallèlement, nous avons été témoin de la construction de plusieurs usines de désencrage au Canada, ce qui a eu pour incidence une plus grande utilisation d'ONP et d'OMG dans les différents produits de papier. En 1990, seulement 1,4% du papier journal produit au Canada contenait de la fibre recyclée tandis qu'en 1992, le contenu atteignait environ 9,4%. C'est encore loin et même en dessous des niveaux proposés par la législation de plusieurs états américains. Nous pouvons donc prévoir que le

pourcentage d'utilisation de fibres recyclées au Canada va s'accroître au cours des prochaines années [8,9].

L'accroissement de la demande de fibres recyclées fait en sorte que la qualité de cet approvisionnement diminue à l'augmentation de la demande. Le niveau de blancheur diminuant il devient pratiquement impossible d'utiliser cette fibre recyclée dans des papiers à valeur ajoutée. Le blanchiment de la pâte devient une obligation. En général, le blanchiment des fibres recyclées fait appel au même réactifs que les pâtes chimiques et mécaniques vierges. Le point d'addition, le dosage et les séquences diffèrent. Le choix du point d'addition du peroxyde d'hydrogène a fait également l'objet de plusieurs publications [10-13], ils ont démontré que le post-blanchiment, après le désencrage est plus efficace que le blanchiment dans un tritrateur.

La figure 1.4 illustre la teneur en pâte mécanique en fonction du niveau de blancheur [14]. Évidemment, le prix augmente avec l'augmentation du niveau de blancheur et la diminution de la teneur en pâtes mécaniques.

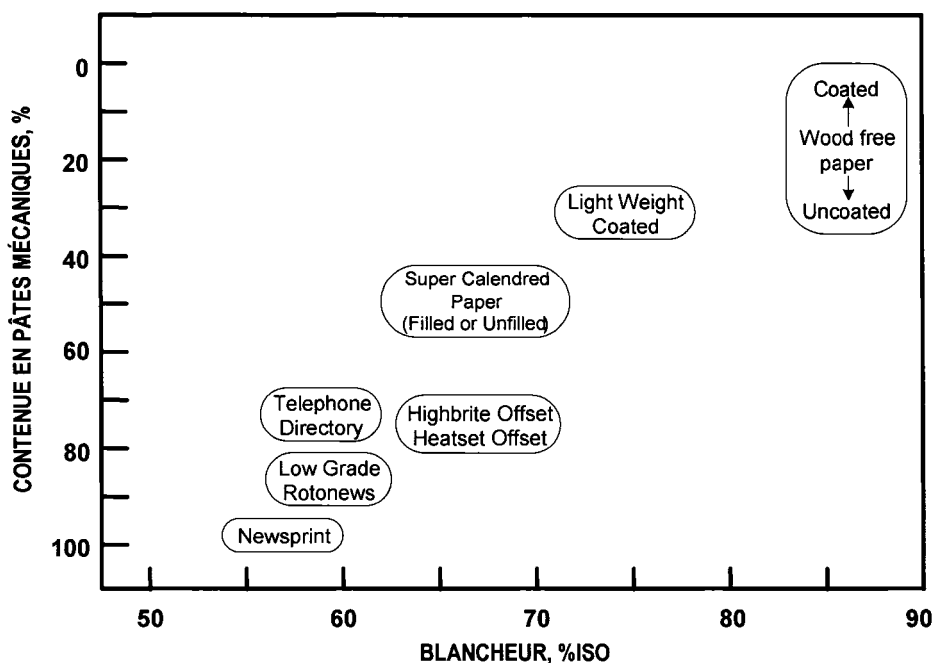


Figure 1.4 Teneur en pâtes mécaniques en fonction de la blancheur

Les pâtes de fibres désencrées contiennent un nombre de composés différents : pâte mécanique, pâte chimique mais aussi des contaminants. Blanchir une pâte de fibres recyclées revient à blanchir un mélange complexe de divers composés ayant chacun un blanchiment spécifique. Les principales difficultés liées au blanchiment des pâtes recyclées avec le peroxyde d'hydrogène sont :

- 1) méconnaissance de la composition fibreuse et non fibreuse de la pâte;
- 2) décomposition du peroxyde.

Une pâte désencrée est le résultat d'un mélange de fibres de différentes essences, de différents procédés de mise en pâte et de contaminants (encre, charges, latex etc.). Certaines fibres ont déjà été blanchies, d'autres jamais, les contaminants réduisent également l'efficacité du blanchiment.

Le peroxyde d'hydrogène qui est généralement utilisé se décompose en présence de certains composés: les métaux comme le fer, le cuivre, l'aluminium, le manganèse, dont on trouve des traces dans la pâte désencrée. Pour éliminer les ions métalliques d'une pâte chimique, un lavage acide à $\text{pH} = 2$ peut être réalisé. Toutefois, ce traitement ne peut être appliqué aux pâtes de fibres recyclées contenant du carbonate de calcium, la demande en acide augmentant alors considérablement. Par conséquent, pour prévenir la décomposition du peroxyde par les ions métalliques, il est préférable d'utiliser des agents stabilisants comme les chélatants ou le silicate de sodium surtout si la teneur en fibres mécaniques est élevée. Il en résulte que le niveau de blancheur atteint un maximum.

L'objectif poursuivi dans nos travaux est d'accroître le niveau maximum de blancheur des pâtes désencrées avec un blanchiment au peroxyde d'hydrogène à haute température et à haute consistance. Nous souhaitons accroître la blancheur de la pâte à un niveau tel que celle-ci puisse être utilisée dans des papiers à valeur ajoutée.

Tout au cours du projet de blanchiment, nous avons utilisé une pâte désencrée composée d'un mélange à 70% de vieux papiers journaux et à 30% de vieux magazines.

Chapitre 2 - Revue littérature

2.1 Importance du blanchiment de la pâte désencrée

Pour permettre d'utiliser une pâte désencrée de vieux journaux et de vieux magazines dans des papiers à valeur ajoutée, il est indispensable de procéder à une étape de blanchiment. Nous espérons que notre étape de blanchiment permettra d'atteindre le niveau de blancheur d'une pâte mécanique blanchie au peroxyde. L'hétérogénéité de la pâte désencrée au niveau de la fibre, de la présence d'encre résiduelle, le vieillissement de cette encre, la présence de contaminants autres que l'encre et l'effet de jaunissement causé par le milieu alcalin donnent à la pâte désencrée un comportement réactionnel différent au blanchiment [11-15].

2.1.1 Agents de blanchiment

Le choix d'un agent de blanchiment est fonction de facteurs, tels que le type de fibre contenu dans la pâte désencrée, du niveau de blancheur recherché et de la blancheur initiale intrinsèque. Pour blanchir la pâte désencrée à forte teneur en fibres mécaniques comme le papier journal, le peroxyde d'hydrogène et l'hydrosulfite de sodium sont les agents de blanchiment les plus utilisés [10,16-20].

L'acide formamidine sulfinique est également proposé dans le blanchiment des papiers colorés. Il s'agit d'un agent de blanchiment très efficace pour décolorer des papiers, par contre, il est très dispendieux [10,16].

Actuellement pour une même concentration d'agents de blanchiment, la pâte mécanique vierge permet d'obtenir les meilleurs résultats comparativement à la pâte désencrée au niveau de la réponse au blanchiment [21-23]. Le tableau 2.1, nous montre le gain de blancheur obtenue avec différents réactifs utilisés pour le blanchiment des pâtes désencrées à forte teneur en fibres mécaniques [10].

Tableau 2.1 Blanchiment des pâtes désencrées à forte teneur en fibres mécaniques

Agent de blanchiment	Gain de blancheur
Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) (P) <ul style="list-style-type: none"> • À la trituration • À la dispersion • Avant l'épuration par flottation-lavage • Après l'épuration par flottation-lavage 	de 3 à 7 de 5 à 9 maximum 10 de 8 à 11
Hydrosulfite de sodium ($Na_2S_2O_4$) (Y) <ul style="list-style-type: none"> • À la dispersion • Après l'épuration par flottation-lavage 	de 2 à 7 de 2 à 7
Séquences oxydation-réduction <ul style="list-style-type: none"> • Peroxyde-Hydrosulfite (PY) • Peroxyde-Acide formamidine sulfinique (PF) 	de 10 à 15 de 10 à 15

2.1.2 Points d'addition de l'agent de blanchiment

Le blanchiment des pâtes désencrées peut s'effectuer dans le tritrateur, dans une tour de blanchiment, dans un disperseur ou au moyen d'un mélangeur. Il a pour but d'augmenter le niveau de blancheur des pâtes désencrées fabriquées par les techniques de lavage et de flottation [16]. Généralement, la pâte désencrée de papier journal et de vieux magazines peut être blanchie en trois points principaux du procédé de désencrage comme présenté à la figure 2.1.

2.1.3 Blanchiment dans un tritrateur

L'addition de l'agent blanchiment à ce point (figure 2.1) permet d'augmenter l'efficacité du blanchiment au cours de la remise en pâte, le milieu alcalin permettant le gonflement des fibres et le décrochage des encres [24].

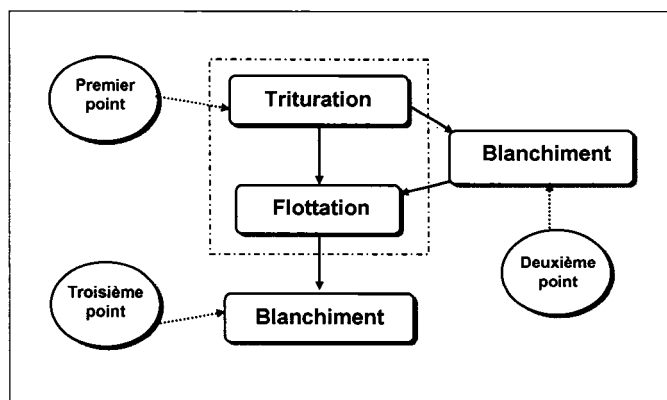


Figure 2.1 Points d'addition des agents de blanchiment pour la pâte désencrée.

Le peroxyde d'hydrogène est surtout ajouté au tritrateur pour limiter le jaunissement des fibres sous les conditions alcalines et augmenter la blancheur de la pâte [13, 25, 26]. L'avantage du peroxyde d'hydrogène pour la pâte désencrée à forte teneur en fibres mécaniques est qu'il ne réduit pas le rendement de la pâte [27,28].

Selon Eul et Süß [27], l'absence de peroxyde au tritrateur affecte la teinte de la pâte, cette coloration ne pourra être modifiée par un blanchiment subséquent au peroxyde. En contrepartie, pour une quantité de peroxyde équivalent, le blanchiment externe après désencrage présente des résultats supérieurs à ceux du blanchiment dans le tritrateur puisqu'une quantité du peroxyde est consommé par l'encre [25, 29]. De plus, le grand nombre d'impuretés dans la pâte provoque la décomposition du peroxyde lorsque le blanchiment est effectué au tritrateur [30].

2.1.4 Blanchiment avant l'étape de flottation

Ce point de blanchiment avec le peroxyde d'hydrogène prend place entre l'étape de trituration et celle de flottation comme présentée à la figure 2.1. L'avantage de ce blanchiment externe est la facilité de sélectionner les conditions pour optimiser le blanchiment comparativement à celui réalisé au tritrateur. Selon Bovin [13], pour des charges de peroxyde de 1%, le niveau de blancheur obtenue avant la flottation est semblable à celui obtenu lors du blanchiment dans le tritrateur. Par contre, l'étude de

Carmichael [31] nous indique que les différences de blancheur s'atténuent lorsque les concentrations de peroxyde d'hydrogène sont supérieures à 1%. Le désavantage de ce type de blanchiment est la nécessité d'une étape supplémentaire et donc des coûts additionnels d'investissement sans pour autant obtenir un gain de blancheur supérieur avec des concentrations de 1% de peroxyde.

Le blanchiment avant l'étape de flottation n'a pas été retenu dans notre étude puisque celui-ci n'apporte aucun avantage sur le blanchiment après l'étape de flottation (propriétés optiques, coûts).

2.1.5 Blanchiment après l'étape de flottation

Ce blanchiment se déroule après l'étape de flottation comme illustré au point trois de la figure 2.1. Le blanchiment peut être effectué avec le peroxyde d'hydrogène ou l'hydrosulfite de sodium. Le choix de l'agent de blanchiment dépend des gains de blancheur désirée ou possible et des coûts de blanchiment [32].

Plusieurs chercheurs [11, 22, 25] ont montré que les résultats obtenus lors du blanchiment après l'étape de flottation sont supérieurs aux deux autres cités précédemment puisque la majorité de l'encre est éliminée de la pâte en ce point.

Le blanchiment avec l'hydrosulfite de sodium est moins affecté par l'encre résiduelle que le blanchiment au peroxyde [11, 22]. De plus, lorsqu'une augmentation de seulement 6 à 7 points de blancheur est requise, il est plus intéressant d'utiliser l'hydrosulfite de sodium que le peroxyde d'hydrogène puisque les coûts en produits chimiques et en capitaux sont de moins importants [22].

Dans le cadre de nos travaux, nous évaluerons uniquement le blanchiment par le peroxyde d'hydrogène puisque nous recherchons des gains de blancheur supérieurs à 6 points [33].

2.2 Blanchiment de la pâte désencrée de vieux papiers journaux et de vieux magazine

Les procédés de blanchiment sont différents selon le type de pâte, pour les pâtes chimiques, on privilégie une élimination quasi-totale de la lignine, pour les pâtes mécaniques, on modifie les groupements chromophores de la lignine en surface. Majoritairement au Québec, on désencre des vieux journaux et des vieux magazines pour une utilisation future de la pâte désencrée dans des papiers à forte teneur en pâtes mécaniques. Compte tenu que cette pâte désencrée contient majoritairement de la pâte mécanique, on utilise les agents de blanchiment communément utilisés pour les pâtes mécaniques. Les étapes sont : soit un blanchiment par oxydation avec le peroxyde d'hydrogène, soit un blanchiment par réduction avec l'hydrosulfite de sodium, soit une séquence de blanchiment d'oxydation-réduction [10, 17, 18, 34, 35] ou l'un après l'autre, etc.

Dans le cadre de nos travaux, nous regardons uniquement le blanchiment par oxydation.

2.2.1 Blanchiment par oxydation

La pâte mécanique non blanchie se présente sous un aspect écru, la lignine n'a subi aucune modification de structure, la pâte a donc pratiquement la couleur initiale du bois. La couleur de la pâte est principalement due à la présence des groupements chromophores. L'objectif du blanchiment par oxydation d'une pâte mécanique est d'augmenter le niveau de blancheur sans endommager les propriétés mécaniques de la pâte et de modifier les groupements chromophores liés à la lignine et aux substances extractibles tout en conservant le niveau de rendement. Ce type de blanchiment est appliqué pour les pâtes désencrées contenant une forte proportion de pâte mécanique. Le peroxyde d'hydrogène est généralement utilisé comme agent oxydant. Il est normalement appliqué sous conditions alcalines pour former les anions perhydroxyles qui, eux transforment les groupements chromophores de la lignine [35-37].

2.2.2 Groupements chromophores

Une pâte mécanique contient tous les constituants du bois, c'est-à-dire :

- lignine (18% à 30%);
- hémicellulose (25% à 30%);
- cellulose (40% à 50%);
- tannins, acides résiniques, substances colorées, etc. (1% à 5%).

La cellulose et les hémicelluloses sont pratiquement incolores. La lignine est l'une des causes principales de couleur dans le bois. La coloration de la lignine et des extraits dépend d'un certain nombre de groupements fonctionnels :

- doubles liaisons éthyléniques;
- groupements carbonyles;
- noyaux phénoliques;
- quinones.

En général, ces groupements ne sont pas colorés. L'apparition de la couleur est directement liée aux possibilités de conjugaison qui existent entre les différents groupements chromophores. La figure 2.2 illustre la structure de ces groupements provoquant une coloration lors de l'absorption de la lumière [33, 38-39].

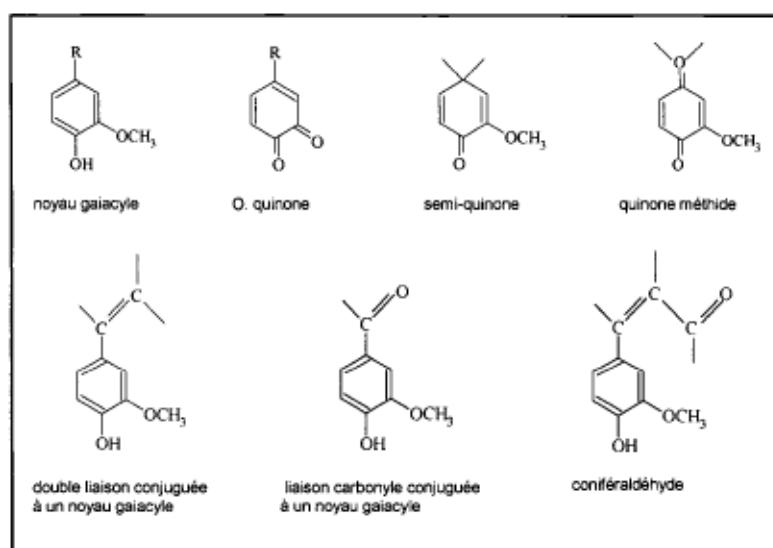


Figure 2.2 Groupements chromophores de la lignine

Les groupements phénoliques qui ne sont pas colorés dans le bois peuvent condenser à une température élevée et se transformer en une structure colorée. De plus, il existe aussi dans le bois d'autres composés chromophores n'appartenant pas à la lignine. Certains complexes entre des cations métalliques (fer) et des composés phénoliques (catéchol) sont également colorés [33, 39].

La figure 2.3 montre l'influence de la conjugaison sur la couleur des composés [40]. La *structure I* n'absorbe pas dans le visible, mais conjuguée avec d'autres groupements tel que les liaisons doubles, elle subit un changement de longueur d'onde d'absorption de la lumière et par conséquent entraîne une coloration [41].

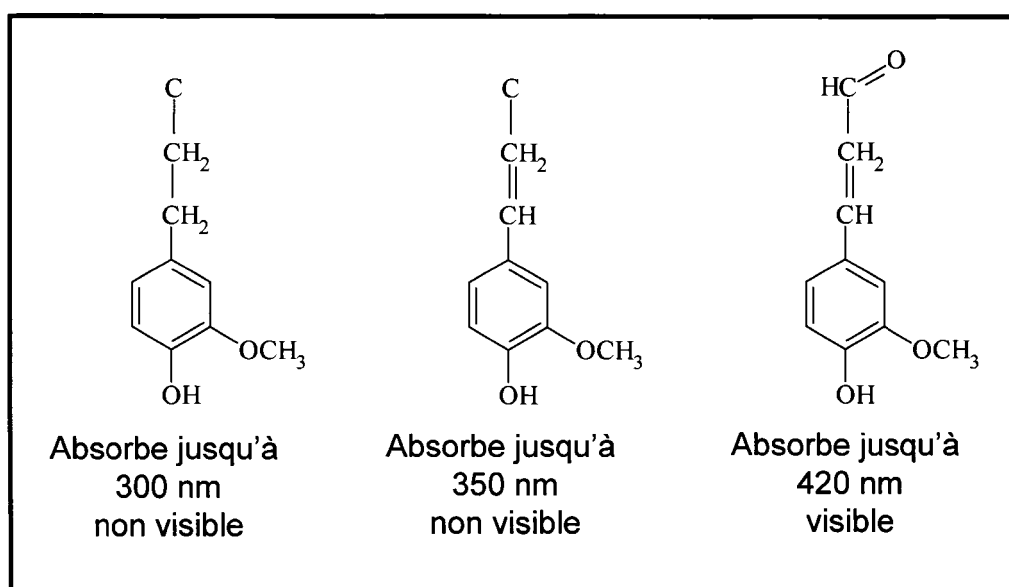


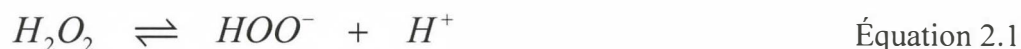
Figure 2.3 Influence de la conjugaison sur la coloration des composés

2.2.3 Peroxyde d'hydrogène

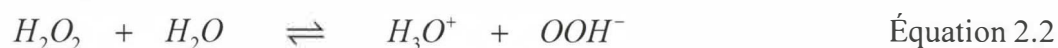
Le peroxyde d'hydrogène se présente sous forme d'un liquide incolore. Il est couramment employé dans plusieurs applications industrielles et domestiques comme un agent oxydant efficace et grâce à son pouvoir d'oxydation, il devient intéressant de l'utiliser dans le blanchiment des fibres recyclées [33, 35, 41-43].

Les avantages du peroxyde d'hydrogène sont sa facilité de manipulation, d'application et sa versatilité. Une application de 2 à 3% du peroxyde d'hydrogène entraîne une augmentation du niveau de blancheur des pâtes à haut rendement en préservant la lignine. Pour des applications de 10% et plus, une perte de rendement durant le blanchiment peut être observée, elle se situe entre 2 et 5% selon les conditions appliquées [28,33].

Bien que le mécanisme de peroxyde ne soit pas entièrement compris, il est généralement accepté que l'ion perhydroxyle soit l'agent actif lors du blanchiment [44].



En solution aqueuse, le peroxyde d'hydrogène se comporte comme un acide faible et se dissocie suivant l'équation 2.2 :



Les ions hydrogènes (H_3O^+) sont supprimés lors d'une addition d'alcali, ce qui permet aussi d'accroître la concentration en anion perhydroxyle (OOH^-). Il est possible de favoriser la formation d'ions perhydroxyles en augmentant le pH par l'addition d'hydroxyde de sodium (NaOH). Selon Singh (45), la dissociation du peroxyde augmente avec la température et le niveau du pH (figure 2.4).

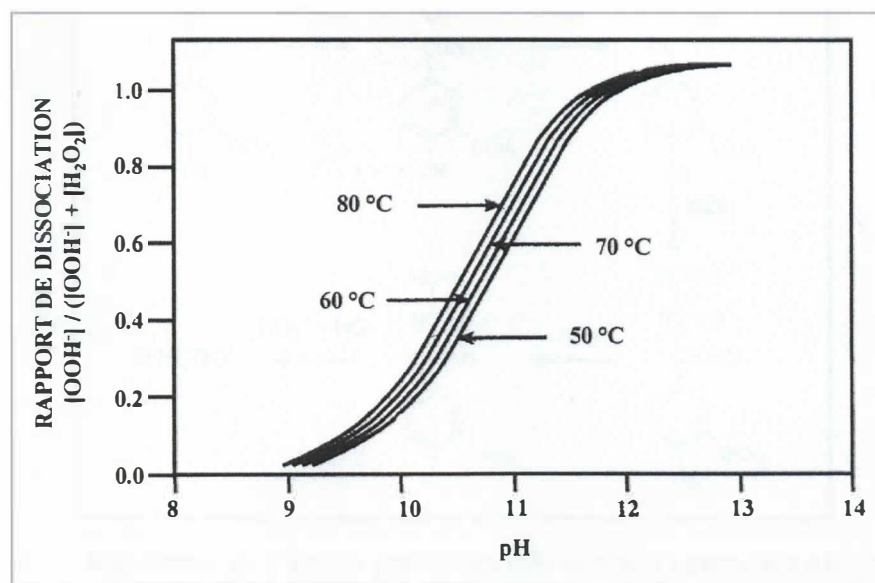
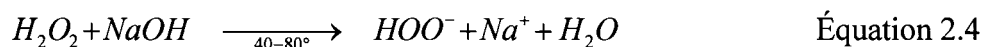


Figure 2.4 Dissociation du peroxyde en fonction du pH et de la température

L'équation 2.3 montre la formation des anions perhydroxyles lors de la présence de soude caustique :



Généralement, le pH appliqué pour le blanchiment est de 10,5 à 11 [35].



Le responsable de l'action blanchissante du peroxyde d'hydrogène est l'anion perhydroxyle. Il oxyde les groupements chromophores de la lignine particulièrement sur les chaînes latérales (figure 2.5), provoquant une diminution des possibilités de conjugaison reliée à la formation de couleur et donc augmentation de la blancheur de la pâte.

Les figures 2.6 et 2.7 illustrent les réactions du peroxyde d'hydrogène avec les liaisons doubles et les carbonyles, il brise leur structure qui entraîne une diminution de la couleur [46, 47].

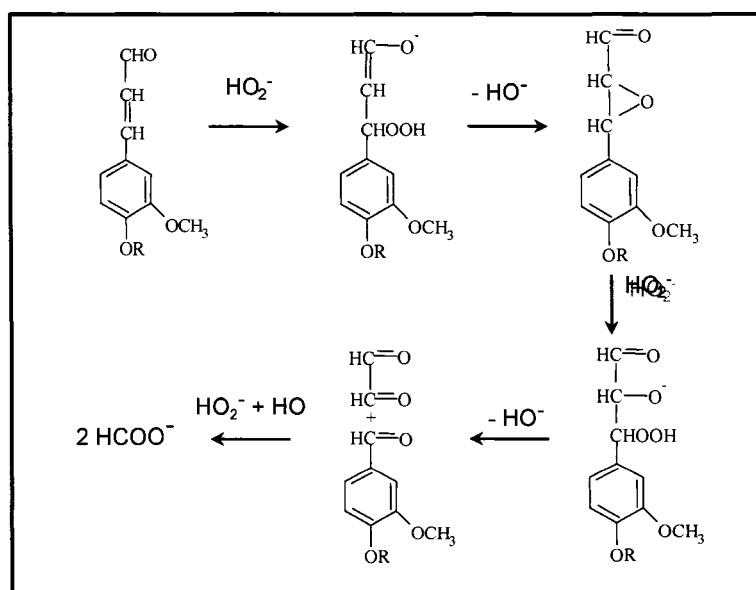


Figure 2.5 Réactions de l'anion perhydroxyle sur des composés aldéhydiques

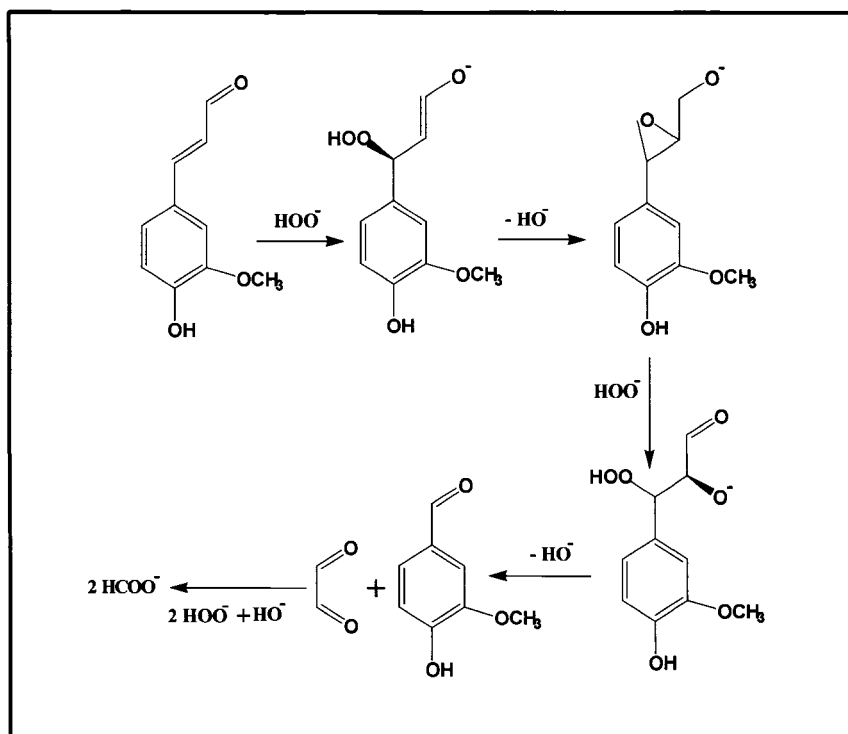


Figure 2.6 Réaction de l'ion perhydroxyle sur une liaison double avec formation d'acides carboxyliques

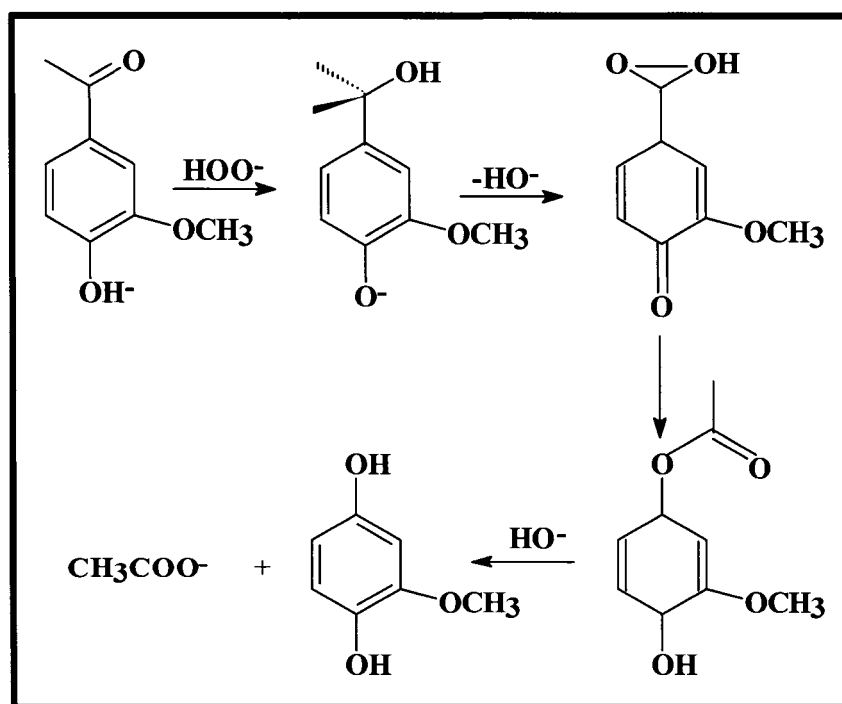


Figure 2.7 Réaction de l'ion perhydroxyle avec les carbonyles

Par contre, le peroxyde peut réagir avec les quinones présentes ou formées dans la lignine pour produire des quinones hydroxyles ou des acides carboxyliques (figure 2.8) (46).

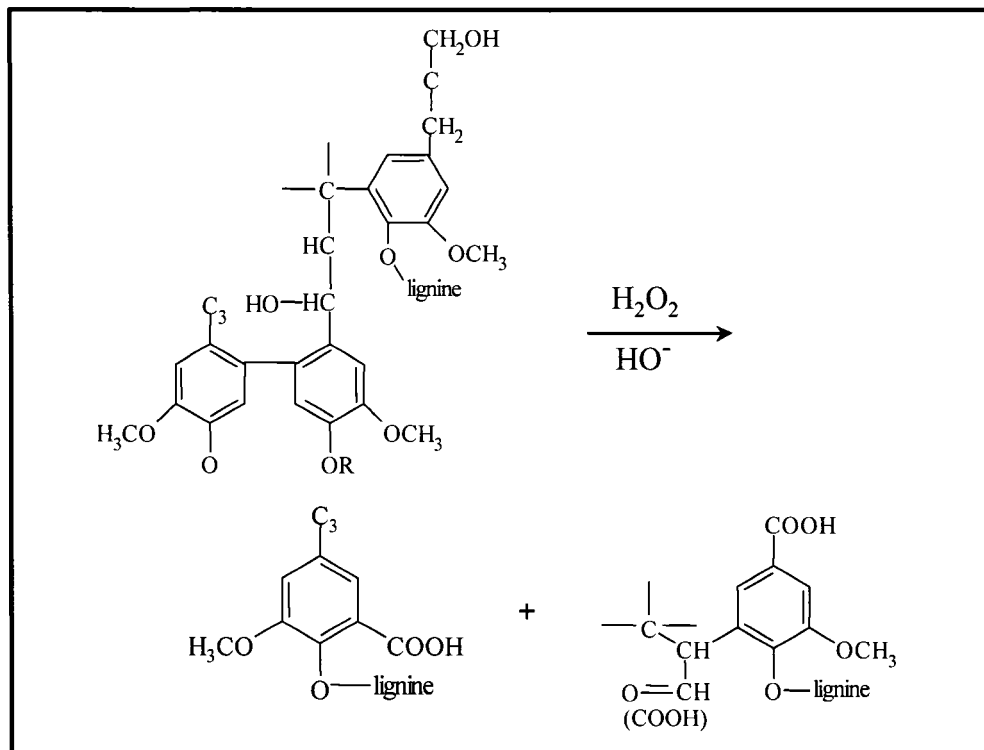
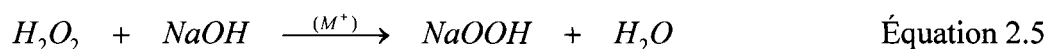


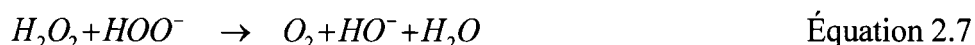
Figure 2.8 Réactions d'élimination de la couleur de la lignine avec le peroxyde

2.2.3.1 Décomposition du peroxyde d'hydrogène

L'alcalinité contribue à la formation de l'anion perhydroxyle, mais une trop grande alcalinité est néfaste à l'efficacité du peroxyde, puisque celui-ci a tendance à se décomposer pour former de l'oxygène à un pH élevé selon les équations suivantes :

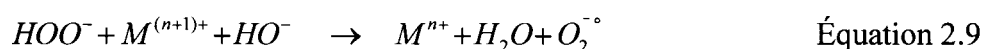


Cette décomposition est généralement décrite sous l'équation suivante :



L'oxygène moléculaire produit lors de cette décomposition occasionne le noircissement de la pâte et diminue la blancheur.

La présence de certains ions métalliques tels que le fer, le cuivre et le manganèse catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène. Les principales réactions sont présentées par les équations ci-dessous :



Les produits intermédiaires et finaux de la décomposition du peroxyde, telles que OH° , $O_2^{\circ-}$, O_2 et HOO° sont des oxydants puissants et peu sélectifs, ils s'attaquent à la lignine ainsi qu'aux hydrates de carbone, ce qui amènent une perte de rendement de la pâte [47].

Pour pallier à ce problème de décomposition du peroxyde d'hydrogène avec la présence des ions métalliques, un agent séquestrant tel l'acide diéthylènetriamine pentaacétique (DTPA) est ajouté dans le blanchiment afin de séquestrer les métaux présents dans la pâte [35, 43].

2.2.4 Cinétique et stoechiométrie du blanchiment avec le peroxyde

L'efficacité d'élimination des groupements chromophores lors du blanchiment au peroxyde d'hydrogène peut être modelé selon la loi d'Arrhenius. En assumant que l'anion perhydroxyle est la principale espèce active dans la destruction des groupements

chromophores, le taux d'élimination de ces groupements peut être décrit comme l'équation suivante [35] :

$$-\frac{dN_{chrom}}{dt} = D \times K_o \times \exp^{-E_a/RT} \times [HOO^-] \times N_{chrom} \quad \text{Équation 2.12}$$

Où

N	=	concentration de chromophore dans la pâte à moment donné
D	=	coefficient de transfert de la phase liquide à la phase de la pâte
K _o	=	constant de taux de construction
E _a	=	énergie d'activation
R	=	constante de gaz
T	=	température de gaz
[HOO ⁻]	=	concentration d'anion perhydroxyle

Selon cette équation, le gain maximum de blancheur est obtenu avec l'augmentation de :

- La température de la réaction. Celle-ci est limitée par la séparation homolytique du peroxyde d'hydrogène dans des radicaux hydroxyles (approximativement 130°C)
- La concentration plus élevée d'anion perhydroxyle (HOO⁻). Celle-ci est affectée par la quantité appliquée du peroxyde d'hydrogène, la concentration en alcali servant à convertir le peroxyde en l'anion perhydroxyle et le taux de décomposition du peroxyde. La concentration optimum d'alcali n'est pas nécessairement la concentration la plus élevée mais le pH doit être suffisamment haut pour s'assurer que le taux de formation des anions perhydroxyle n'est pas le taux limitant d'étape. Un pH trop élevé entraîne la décomposition du peroxyde ou l'augmentation de son taux de décomposition par des réactions de transition métallique–catalysées [35].

Dans le blanchiment de la pâte avec le peroxyde d'hydrogène, le peroxyde est consommé par deux réactions parallèles : blanchiment de la pâte et décomposition. La décomposition peut être contrôlée en minimisant la concentration en métaux de transition dans la pâte et par addition de stabilisateurs de peroxyde d'hydrogène. Les stabilisateurs peuvent également séquestrer les métaux qui catalysent la décomposition du peroxyde d'hydrogène [35, 43].

2.2.5 Conditions de blanchiment

Le tableau 2.2 présente les conditions conventionnelles du blanchiment au peroxyde d'hydrogène que nous retrouvons régulièrement dans les travaux [23, 33, 48, 49].

Tableau 2.2 Conditions conventionnelles du blanchiment au peroxyde

Consistance, %	12-30
Concentration en Na_2SiO_3, %	3
Concentration en NaOH, %	1-3
Concentration en H_2O_2, %	1-3
Température de réaction, °C	40-80
Temps de rétention, min	30-480
pH	10-11

2.3 Facteurs affectant le blanchiment au peroxyde d'hydrogène

Le blanchiment au peroxyde de la pâte désencrée de vieux papiers journaux et de vieux magazines permet d'obtenir des gains de blancheur maximum allant jusqu'à 11 points et

ce, avec de faible perte de rendement. Plusieurs facteurs peuvent influencer l'efficacité de blanchiment [35, 44].

2.3.1 Encre résiduelle

L'encre résiduelle est l'un des facteurs importants qui affecte l'efficacité du blanchiment de la pâte désencrée car une concentration trop élevée d'encre résiduelle influence le niveau de blancheur de la pâte. L'augmentation de la consistance de la pâte, la remise en pâte, le temps d'entreposage, la vitesse de rotor et la concentration d'encre favorisent également la redéposition de particules d'encre dans la pâte [50- 52]. L'encre résiduelle diminue le niveau de blancheur du papier, selon le niveau d'encre résiduelle, le papier a une couleur plus foncée ou plus grise par rapport à un papier fait à partir de pâte vierge. Cependant, le blanchiment en tour ou le blanchiment avec les produits chimiques de désencrage permet de récupérer une certaine partie de la perte de blancheur du papier si la majeure partie de l'encre a été enlevée [53].

Il existe trois grands types d'encre pour papier journal [50] :

- 1) Les encres typographiques, elles sont utilisées dans moins de 30%, elles sèchent par pénétration dans le papier. Lors de la remise en pâte, ces encres sont aisément décrochées de la surface de la fibre, puis facilement éliminées par flottation ou lavage.
- 2) Les encres lithographiques, aujourd'hui, le procédé d'impression par lithographie pour le papier journal est d'environ 70%. La quantité d'encre transférée au papier est réduite de 50% comparativement au procédé typographique. Ce type d'encre est facilement décroché puis enlevé par flottation grâce à des agents collecteurs.
- 3) Les encres flexographiques, généralement, le véhicule de l'encre flexographique est constitué d'un polyacrylate soluble ou facilement dispersable. Lors de la remise en pâte en milieu alcalin, la resolubilisation de

l'agent liant produit la libération et la stabilisation de fines particules de carbone de 0,2 à 1,0 μm de diamètre. Le seul moyen qui soit présentement efficace pour éliminer ce type d'encre est le lavage.

Selon Ben et Dorris [52], l'encre résiduelle peut être identifiée en deux types : l'encre libre («Free ink») et l'encre liée («Bound ink»). Les encres libres sont les particules d'encre détachées des fibres par l'action mécanique et/ou l'action chimique, elles peuvent être enlevées par lavage, flottation et «hyper lavage». Tandis que les encres liées sont des particules d'encre qui sont irréversiblement redéposées sur les fibres longues et/ou encore restées sur et/ou à l'intérieur du lumen des fibres. Ces derniers types de l'encre sont considérés comme l'encre irréversiblement redéposée et/ou définitivement attachée, ils sont impossibles à enlever par les traitements de «l'hyper lavage». Généralement, les particules d'encre liées proviennent d'une encre flexographique ou une encre lithographique âgée.

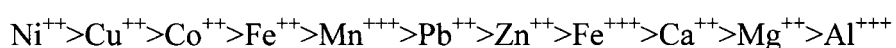
La technique de flottation convient pour enlever les particules d'encre libres ayant la taille de l'ordre de 10-100 μm . L'avantage de la flottation est qu'elle consomme moins d'eau par rapport au lavage. De plus, les fines et les charges à l'intérieur de la pâte sont conservées au maximum. Alors que le lavage est un procédé de désencrage qui est employé pour éliminer de la pâte les particules d'encre et autres contaminants dont le diamètre est inférieur à 20 μm [51]. Quant au traitement par «hyper lavage», il convient pour enlever les particules d'encre libres ayant la taille inférieure à 130 μm ou encore attachées sur les fibres. Les inconvénients de ce processus sont qu'il nécessite une grande quantité d'eau et qu'il est accompagné d'une perte de fines et de charges [52].

2.3.2 Prétraitement de la pâte par un agent séquestrant

Comme nous avons discuté dans la section 2.2.1.3, la décomposition du peroxyde est normalement catalysée par la présence dans la pâte de certains ions métalliques. Les principaux métaux présents dans la pâte désencrée sont le manganèse (Mn^{2+}), le fer

(Fe²⁺) et le cuivre (Cu²⁺). Ces métaux proviennent de procédés de mise en pâte, de l'eau fraîche, de l'eau blanche de l'usine ainsi que du bois. Parmi les trois métaux, le fer est le plus difficile à éliminer car il possède une forte affinité envers des fines de pâte. De plus, il est partiellement absorbé sur les charges minérales présentes dans la pâte désencrée [35, 54, 55]. Les pigments d'encre peuvent également contenir des métaux comme le cuivre, ce qui peut nuire à l'action du peroxyde d'hydrogène [50].

Pour limiter le plus possible la décomposition du peroxyde due aux métaux de transition, une petite quantité d'un agent séquestrant est ajoutée dans la suspension de la pâte pour former des complexes organométalliques solubles inhibant l'activité de ces ions dans le rôle de la catalyse. Le DTPA est l'agent chélatant le plus utilisé, il est actif en milieu mi-acide, neutre ou alcalin. Le DTPA réagit avec les ions métalliques selon la séquence suivante [14, 43] :



L'EDTA (acide éthylène diamine tetracétique) est un autre agent séquestrant utilisé pour prétraiter la pâte, mais l'efficacité de ce réactif est supérieure en milieu acide [16, 35]. La figure 2.9 montre les divers types d'agent chélatant.

La présence d'enzymes, comme la catalase décompose également le peroxyde d'hydrogène et augmente sa consommation. Les enzymes sont très actifs à la température inférieure à 50 °C, lorsque la température est supérieure à 70 °C, ils sont devenus inactifs. Pour détruire efficacement les enzymes, la pâte doit être prétraitée avec une petite quantité de chlore ou d'hypochlorite de sodium [16, 56, 57].

2.3.3 Consistance de la pâte

Initialement, le blanchiment au peroxyde d'hydrogène était effectué à basse consistance (3-7%), mais on observa rapidement que de meilleurs résultats pouvaient être obtenus à des consistances plus élevées. Les avantages du blanchiment à haute consistance sont [57] :

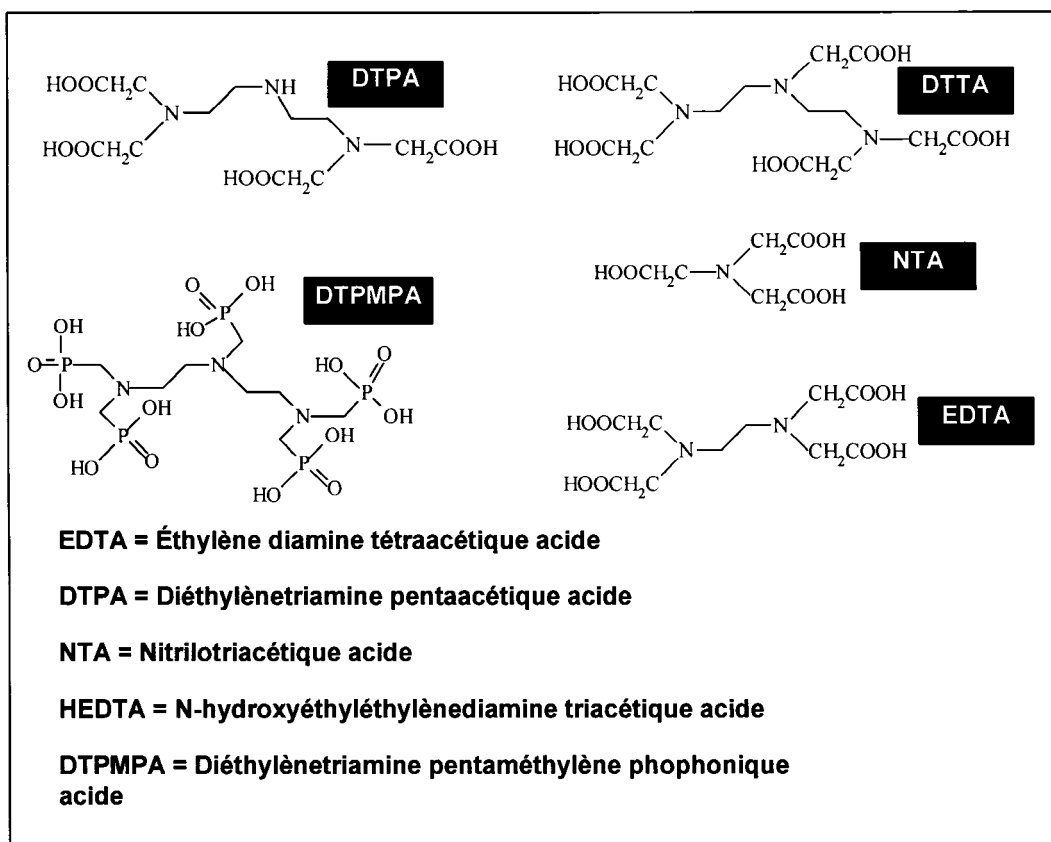


Figure 2.9 Divers types d'agent séquestrant utilisés lors du prétraitement

- L'amélioration des circuits d'eau
- La réduction du transfert de matériels organique et inorganique à la machine à papier et la demande cationique.
- La réduction de la quantité de produits chimiques requis lors du blanchiment.
- La blancheur finale plus élevée
- La réduction de la consommation du peroxyde d'hydrogène

- La diminution de la DCO (demande chimique en oxygène) durant le blanchiment due à la réduction simultanée de la concentration en soude caustique
- L'économie de vapeur, puisque moins d'eau doit être réchauffée dans la vis de chauffage.

À haute consistance, la décomposition du peroxyde et d'autres réactions secondaires, en compétition avec les réactions de blanchiment, sont moins favorisées et une plus grande proportion de réactifs se retrouve à proximité des sites de blanchiment.

Plusieurs théories sur l'effet de la consistance lors du blanchiment ont été avancées. Les thèmes communs dans ces théories incluent; l'effet de l'augmentation de la consistance sur la concentration des produits chimiques de blanchiment autour des fibres et les phénomènes de transfert de masse impliquant le taux de mobilité des agents de décomposition tels que les métaux de transition. Dans le cas de blanchiment des pâtes désencrées, la haute consistance permet aussi un meilleur décrochage des particules d'encre [16, 47, 58].

2.3.4 Rapport d'alcalinité et pH

Dans le blanchiment oxydant avec le peroxyde d'hydrogène, la dissociation du peroxyde et la formation des anions perhydroxyles sont les réactions qui servent à développer la blancheur laquelle nécessite une alcalinité optimale. Une alcalinité trop élevée provoque le jaunissement de la pâte, tandis qu'un manque d'alcalinité engendre un niveau de blancheur plus faible.

Lorsqu'une alcalinité est trop élevée, le peroxyde se décompose et produit de l'oxygène qui provoque la formation de nouveaux chromophores et le noircissement de la pâte [35].

Idéalement, l'alcalinité initiale de la liqueur de blanchiment doit donner un pH entre 10,5 à 11,0. L'équation 2.13 montre la corrélation entre le pH de la liqueur de blanchiment et le taux de formation de l'anion perhydroxyle [35].

$$pH = pK_a + \log \frac{[HOO^-]}{[H_2O_2]} \quad \text{Équation 2.13}$$

Où

$pK_a = 11,6$ pour la formation d'anion perhydroxyle à 25°C

L'équation 2.13 prédit que lorsque le peroxyde d'hydrogène appliqué est dissocié jusqu'à 50% ($[HOO^-] = [H_2O_2]$), le pH égale au pK_a . Alors que, lorsque le pH décroît jusqu'à 10,6, le peroxyde d'hydrogène n'est dissocié qu'à 10%.

De façon générale, l'alcalinité (également appelée l'alcali total) provient de 2 sources : le silicate de sodium (Na_2SiO_3) et l'hydroxyde de sodium (NaOH). Le silicate de sodium est ajouté en premier, ensuite le taux d'alcalinité est ajusté par l'ajout d'hydroxyde de sodium. Le silicate de sodium commercial, à 41,5° Baumé de métasilicate de sodium contient approximativement 11,5% en poids de NaOH libre. L'alcali total est exprimé selon l'équation suivante [47]:

$$\text{Rapport d'alcali total} = \frac{\%NaOH + (0,115 \times \%Na_2SiO_3)}{\%H_2O_2} \quad \text{Équation 2.14}$$

La demande d'alcalinité de la pâte vierge et de la pâte recyclée est différente lors du blanchiment au peroxyde. La demande d'alcalinité de la pâte recyclée est inférieure à celle de la pâte vierge parce que la plupart des acides dans la fibre ont été neutralisés ou enlevées quand la fibre a été transformée la première fois en papier. En conséquence, le rapport d'alcali total pour le blanchiment efficace de la fibre recyclée est inférieur à celui de la pâte vierge (47).

2.3.5 Température et temps de rétention

Lorsque l'application de peroxyde d'hydrogène est utilisée dans un plan de blanchiment d'une usine, le temps et la température sont deux paramètres importants. L'écoulement d'eau et le transfert thermique limitent généralement le changement de la température de pâte d'une étape à l'autre et la dimension d'une tour de blanchiment détermine le temps de résidence de la pâte pour un taux de production donné [35].

La température et le temps de rétention sont des variables inter-reliées. La variation d'une des deux variables affecte la blancheur obtenue. Lorsque la pâte est blanchie à une température élevée, le temps de rétention doit être diminué pour atteindre un certain niveau de blancheur. Lorsque la pâte est blanchie à une température inférieure à 60°C, le temps de rétention doit être augmenté pour maintenir un même niveau de blancheur obtenu. Par contre, la vitesse de décomposition du peroxyde d'hydrogène et la formation d'ion perhydroxyle sont en compétition lorsque la température est supérieure à 95°C. Dans ce cas, une étape de contrôle des métaux de transition est impérative pour minimiser la décomposition du peroxyde [47]. La figure 2.10 [47] montre la relation entre le temps, la température et l'alcalinité qui nous permet d'obtenir la meilleure réponse au blanchiment au peroxyde d'hydrogène.

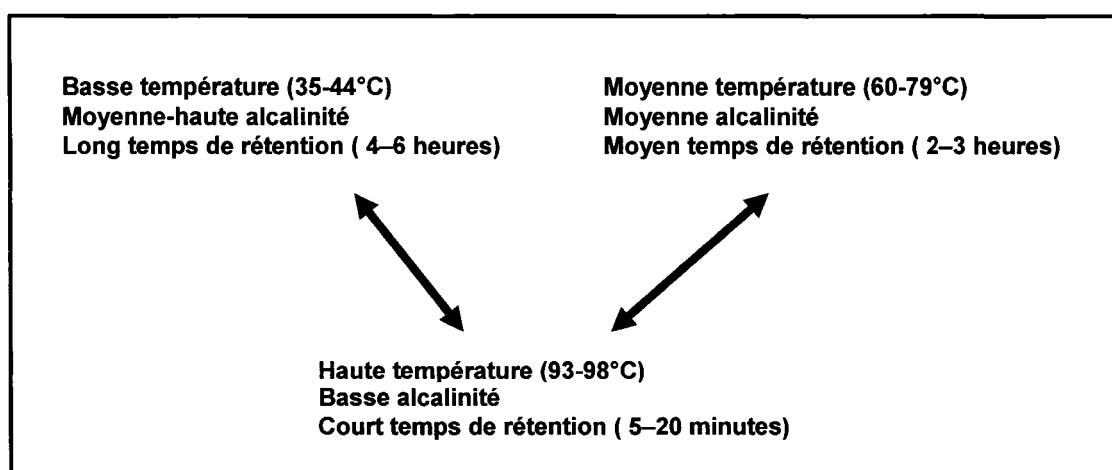
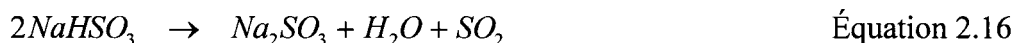


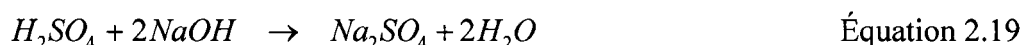
Figure 2.10 Relation entre température, temps de rétention et alcalinité

2.3.6 Peroxyde résiduel et neutralisation

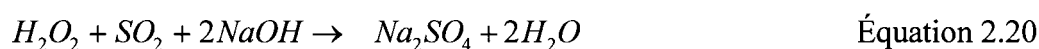
Lorsque le traitement de la pâte au peroxyde d'hydrogène est terminé, il est nécessaire d'avoir dans la solution du peroxyde et de l'alcali résiduel pour s'assurer d'une blancheur maximale. La suspension de la pâte a alors un pH d'environ 9,0 et elle doit être neutralisée jusqu'à pH 4,5-5,5. Cette neutralisation permet de stabiliser la blancheur, d'éviter le noircissement par l'alcali, d'éliminer le peroxyde résiduel et de faciliter la production du papier qui se fait généralement à un pH inférieur à 7. Le métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) est utilisé pour neutraliser la pâte après le blanchiment. Les principales réactions sont les suivantes [33] :



Finalement, la neutralisation d'alcalinité s'effectue par la réaction entre l'acide sulfurique formé et l'hydroxyde de sodium résiduel :



Une solution de bioxyde de soufre peut être également utilisée pour éliminer le peroxyde résiduel :



2.4 Pourquoi blanchir la pâte à haute température

Certains processus récents développés pour le blanchiment au peroxyde d'hydrogène ont augmenté l'efficacité du peroxyde. Une amélioration de la blancheur de la pâte mécanique est constatée par l'ajout d'une étape de blanchiment au peroxyde à température élevée. Cela permet d'augmenter la consommation du peroxyde à une

charge donnée, générer la blancheur maximum à une consommation donnée du peroxyde et réduire le temps de rétention comparativement au blanchiment conventionnel au peroxyde [59-62]. Le blanchiment à haute température permet également de désactiver les activités des catalase qui peuvent consommer le peroxyde à une température inférieure à 70°C [57].

Selon Grandfeldt [61], l'accroissement de la blancheur lorsqu'une augmentation de la température est dû à deux facteurs : la consommation plus élevée en peroxyde et le gain de blancheur correspondant plus élevé et un blanchiment plus efficace des structures chromophores des colorants, des pigments et/ou de la lignine par le peroxyde à la température élevée.

Cependant, le contenu élevé des métaux de transition de la pâte mécanique ou la pâte recyclée à forte teneur en fibres mécaniques est le principal problème du blanchiment à température élevée. Ces métaux accélèrent la décomposition du peroxyde comme nous avons déjà discuté dans la section 2.2.1.3 [61].

2.5 Propriétés optiques du papier

Comme plusieurs types de papier sont vendus en fonction de leur apparence, les propriétés optiques sont très importantes. Le traitement de blanchiment permet d'améliorer les propriétés optiques d'une pâte désencrée et la mesure des propriétés optiques est donc nécessaire. Les principales propriétés dans ce projet sont la blancheur, les coordonnées de couleur et la concentration effective en encre résiduelle.

2.5.1 Blancheur ISO

La blancheur est la mesure de la réflectance diffuse de la lumière par un papier à une longueur d'onde de 457 nm du spectre visible correspondant à la région du bleu (figure 2.11) [63]. Cette longueur d'onde est la plus sensible au changement de couleur qui survient lorsque la pâte est blanchie et elle est également en accord avec la perception

reçu par l'œil. La réflectance d'un échantillon est mesurée à cette longueur d'onde puisque l'absorption de la lumière est plus grande dans la partie du spectre visible où le jaune possède comme sa couleur complémentaire le bleu [64].

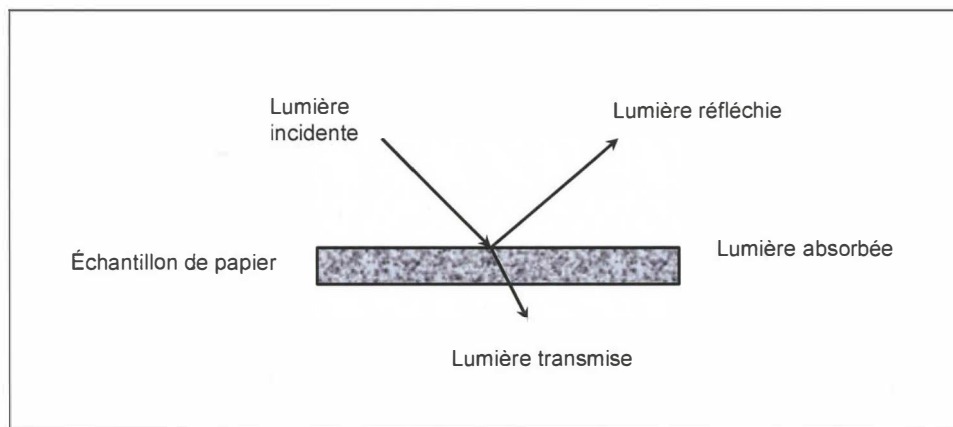


Figure 2.11 Mesure de la blancheur

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la blancheur (ISO, G.E., TAPPI et SCAN). Toutes les méthodes sont basées sur les mêmes principes, pourtant certaines conditions du test sont différentes l'une de l'autre. Il est donc important d'indiquer la méthode utilisée dans les rapports de valeur de la blancheur. Le réflectomètre ISO produit un éclairage diffus de l'échantillon à l'aide d'une sphère photométrique. La lumière réfléchié à 90° est mesurée [65].

La mesure de la blancheur est influencée par l'état de surface du papier. Un papier présente une surface très rugueuse sera da blancheur moindre car moins de lumière est réfléchié à 90° . Pour cette raison, la blancheur est mesurée sur le côté lisse des feuilles standards.

2.5.2 Coordonnée de couleur (système CIE $L^* a^* b^*$)

Le système CIE $L^* a^* b^*$ (Commission Internationale de l'Éclairage) est le système qui est de plus en plus utilisé dans ces dernières années. Ce système permet de quantifier les

changements de couleur. Tout comme le phénomène de perception de la lumière, le système CIE $L^* a^* b^*$ est tridimensionnel comme illustré à la figure 2.12. La coordonnée de couleur L^* correspond à la luminosité et varie du noir au blanc. La couleur blanche égale à 100 sur l'échelle, tandis que le noir équivaut à 0. L'axe a^* mesure les changements du vert au rouge, alors que l'axe b^* mesure ceux du bleu au jaune.

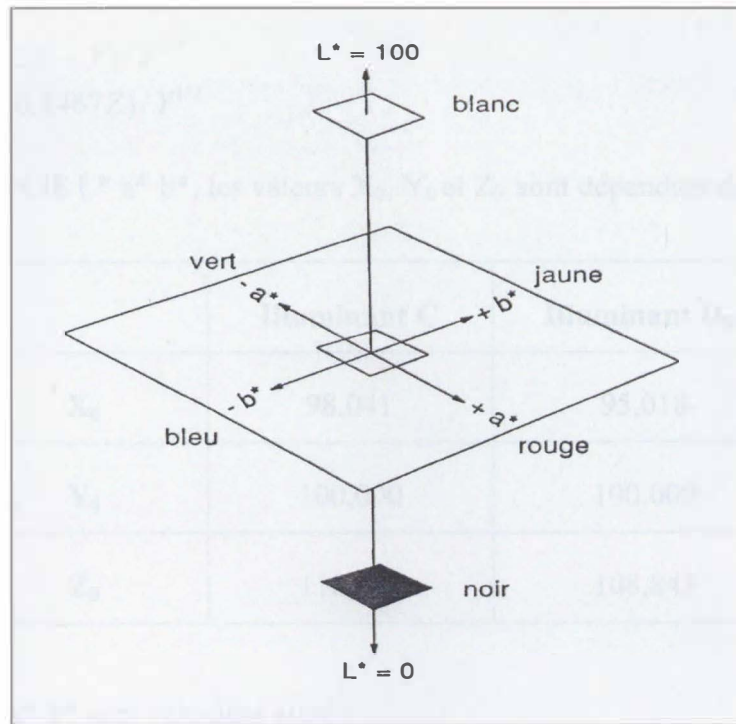


Figure 2.12 Coordonnées de couleur CIE $L^* a^* b^*$

Le système CIE $L^* a^* b^*$ est double. Une première génération (Hunter square Root) fut modifiée (CIE LAB) et les deux systèmes sont habituellement utilisés.

Le système $L a b$ (Hunter), les réflectances R_x , R_y et R_z sont obtenues de l'Elrepho.

$$R_x = \text{filtre 9}$$

$$R_y = \text{filtre 10}$$

$$R_z = \text{filtre 11}$$

Les coefficients X, Y et Z sont calculés comme suit :

$$X = 0,783R_x + 0,198R_z \quad \text{Équation 2.21}$$

$$Y = R_y \quad \text{Équation 2.22}$$

$$Z = 1,182R_z \quad \text{Équation 2.23}$$

Les valeurs L, a et b sont obtenues comme l'équation suivante :

$$L = 10,0Y^{1/2} \quad \text{Équation 2.24}$$

$$a = 17,5(1,02X - Y)/Y^{1/2} \quad \text{Équation 2.25}$$

$$b = 7,0(Y - 0,8467Z)/Y^{1/2} \quad \text{Équation 2.26}$$

Pour le système CIE L* a* b*, les valeurs X₀, Y₀ et Z₀ sont dépendant de l'illuminant.

	Illuminant C	Illuminant D₆₅
X₀	98,041	95,018
Y₀	100,000	100,000
Z₀	118,103	108,845

Les valeurs L* a* b* sont calculées ainsi :

$$L^* = 116[(Y/Y_0)^{1/3}] - 16 \quad \text{Équation 2.27}$$

$$a^* = 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \quad \text{Équation 2.28}$$

$$b^* = 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] \quad \text{Équation 2.29}$$

2.5.3 Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)

Jordan et Popson [66] ont développé une méthode servant à distinguer les particules d'encre présentes dans le papier. Le dispositif ERIC 950 Technibrite de Technidyne est utilisé pour mesurer la concentration d'encre résiduelle. Cet appareil mesure la réflectance dans la région infrarouge du spectre où le coefficient d'absorption d'encre est à une longueur d'onde plus grande que le coefficient d'absorption de la fibre et des autres composées telles que la lignine et les colorants, cette mesure est prise à 950 nm.

Si l'encre dans une feuille est d'un type qui a un coefficient d'absorption de $10000 \text{ m}^2/\text{kg}$, et si l'encre résiduelle dans la feuille a augmenté le coefficient d'absorption de la feuille de $1 \text{ m}^2/\text{kg}$, alors « la concentration effective » de l'encre résiduelle peut être estimée à $1/10000$ ou 100 ppm [66].

Le terme de « la concentration effective » est utilisé car le coefficient d'absorption à une concentration donnée dépend fortement du type de l'encre, de la taille des particules d'encre, du niveau de fractionnement et de la dispersion ou l'agglomération de l'encre [66,67].

Chapitre 3 - Matériels et Méthodologies expérimentales

3.1 Méthodologie

Dans notre étude, nous avons comme objectif de démontrer que nous pouvons blanchir la pâte désencrée avec le peroxyde d'hydrogène en tour à une température de 85 °C avec un temps de séjour de 60 minutes, avec une concentration en peroxyde de 3% et ce à une consistance de 26%. Notre projet de recherche peut se subdiviser en cinq parties : la première partie consiste à blanchir la pâte désencrée dans un mélangeur de laboratoire de marque Hobart avec différentes concentrations en hydroxyde de sodium sur une pâte non-traitée et sur une pâte prétraitée au DTPA. Dans la seconde partie de notre expérimentation, nous avons utilisé un réacteur Quantum pour simuler un disperseur «disperger», la liqueur de blanchiment étant introduite dans le réacteur. La figure 3.1 représente le procédé global de la première et la deuxième partie.

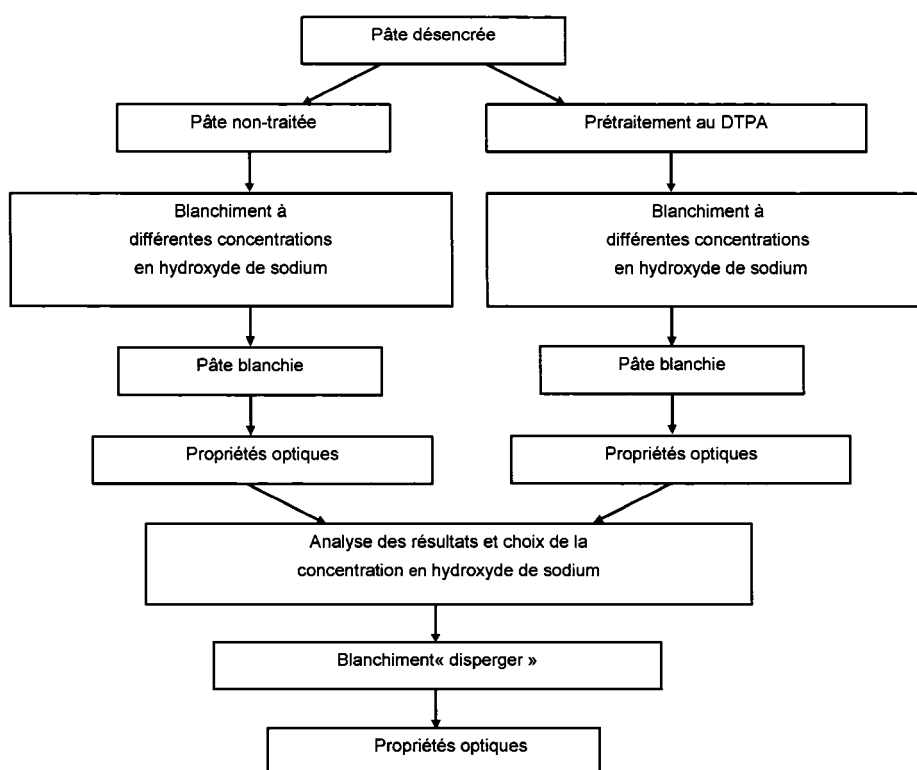


Figure 3.1 Schéma du procédé global de la première et la deuxième partie

La troisième partie de notre projet consiste à traiter les pâtes blanchies par un «hyper lavage» afin de vérifier l'efficacité du blanchiment au peroxyde d'hydrogène. La partie quatre comprend le blanchiment de type «disperger» avec un ajout d'acide oléique dans la liqueur de blanchiment. La dernière partie de nos travaux porte sur le fractionnement et le blanchiment des pâtes désencrées.

3.1.1 Siccité de la pâte

La norme standard A.2 de l'Association Canadienne des Pâtes et Papiers (CPPA) a été utilisée pour déterminer la masse sèche de la pâte. La tare est mise dans l'étuve à 105°C afin d'éliminer l'humidité pendant 24 heures. Par la suite, la tare est immédiatement placée dans un dessiccateur. Ensuite, une éprouvette de 5 g de pâte est pesée dans une tare. Par la suite, la tare remplie de l'éprouvette est introduite dans l'étuve à 105°C jusqu'à ce que la masse soit constante. La détermination de la siccité de pâte est effectuée après le refroidissement de la tare dans le dessiccateur pendant 15 minutes.

La siccité de la pâte est calculée selon l'équation ci-dessous :

$$\text{Siccité de la pâte , \%} = 100 \times \frac{(W_1' - W_2)}{(W_1 - W_2)} \quad \text{Équation 3.1}$$

Où :

W_1 = masse de la tare avec la pâte humide avant séchage

W_2 = masse de la tare après l'introduction dans l'étuve

W_1' = masse de la tare avec la pâte humide après séchage

3.1.2 Prétraitement de la pâte

La pâte désencrée utilisée lors des essais contient 70% de papier journal et 30% de papier magazine. Afin de réduire au minimum la quantité de métaux de transition dans la pâte, nous avons procédé au prétraitement de la pâte avec l'agent séquestrant DTPA. Pour nos essais, nous avons prétraité un kilogramme sec de pâte désencrée avec 0,5% de DTPA (3% consistance, 70°C pendant 15 minutes). Après le prétraitement, la pâte est

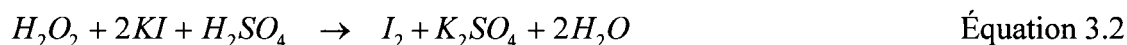
filtrée et séchée à l'air jusqu'à 46% de siccité tandis que la pâte non-traitée a une siccité de 37%. Le tableau 3.1 montre l'effet de DTPA sur l'enlèvement des métaux de transition.

Tableau 3.1 Teneur en métaux des pâtes non-traitée et prétraitée

Métaux	Pâte non-traitée	Pâte prétraitée
Fe, mg/kg	308 ±27	284±27
Cu, mg/kg	13,9±4	9,0±4
Mn, mg/kg	27,1±3	7,3±3

3.1.3 Dosage du peroxyde d'hydrogène

Le peroxyde résiduel est mesuré par titrage iodométrique selon la norme standard CPPA J.16P. Pour doser le peroxyde d'hydrogène, nous utilisons une solution diluée de peroxyde (facteur de dilution de 10/1000). A l'aide d'une pipette, l'éprouvette de 10 ml de ce peroxyde dilué est ensuite transférée dans un enlenmeyer de 250 mL contenant 50 mL d'eau déminéralisée. Une solution de 5 mL d'acide sulfurique à 20% est ajoutée dans l'enlenmeyer, ainsi que 5 mL d'iodure de potassium à 10% et de 2 mL de molybdate d'ammonium à 3%. Le mélange vire alors au brun rougeâtre à cause de l'iode libéré.



L'iode moléculaire formé est titré avec une solution de thiosulfate de sodium 0,1 N jusqu'à ce que la couleur passe au jaune pâle. Un indicateur d'amidon est ajouté en dernier, le titrage se poursuit goutte à goutte jusqu'à ce que le bleu disparaisse.



La concentration en peroxyde est exprimée en grammes par litre :

$$Con.H_2O_2(g/L) = \frac{Vol.(Thio)}{Vol.(H_2O_2)} \times N(Thio) \times \frac{0,017}{1meq} \times \frac{1000}{10} \times \frac{1000}{1L} \quad \text{Équation 3.4}$$

D'où Vol. (Thio) : volume de la solution de thiosulfate utilisé dans le titrage

N (Thio) : normalité du thiosulfate utilisé dans le titrage

1000/10 : facteur de dilution

1000/L : facteur de conversion

3.1.4 Détermination de la concentration en ions métalliques

Les cendres obtenues suite à la combustion à 525 °C de trois (3) grammes secs de pâte sont solubilisées dans 25 mL d'acide chlorhydrique (HCl) concentré. Par la suite, la solution est mise à ébullition et transférée dans un ballon volumétrique de 100 mL.

Les ions de métaux (fer, cuivre, manganèse) sont analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique au plasma.

3.1.5 Détermination des propriétés optiques

Dans nos travaux, les propriétés optiques de papier sont mesurées sur des feuilles de 4 g fabriquées selon la norme CPPA C.5.

Le degré de blancheur est déterminé selon la norme standard CPPA E.1, les coordonnées de couleur L*, a*, b* selon la norme CPPA E.5 et la concentration effective en encre résiduelle (ERIC) est mesurée selon la méthode TAPPI T 567 pm-97. Toutes les mesures mentionnées sont effectuées avec un appareil Technibrite.

3.2 Blanchiment au peroxyde d'une pâte désencrée non-traitée et prétraitée au DTPA dans un mélangeur Hobart

3.2.1 Évaluation des concentrations en hydroxyde de sodium

Le tableau 3.2 montre les conditions dans lesquelles nous avons procédé au blanchiment des pâtes désencrées non-traitée et prétraitée au DTPA. Nous avons effectué le blanchiment des pâtes sur des échantillons de 25 g de pâte anhydre.

Tableau 3.2 Conditions opérationnelles de la première partie utilisés lors du blanchiment

Conditions	
Concentration en Na_2SiO_3, %	2
Concentration en NaOH, %	0 - 0,3 - 0,5 - 0,7 - 0,9 - 1,1 - 1,5 - 1,9 et 2,5
Concentration en DTPA, %	0,35
Concentration en H_2O_2, %	3
Consistance, %	26
Température de réaction, °C	85
Temps de rétention, min.	60

En ce qui concerne la liqueur de blanchiment, les produits chimiques de blanchiment sont ajoutés selon l'ordre suivant : 2% de silicate de sodium est ajouté en premier dans la liqueur de blanchiment pour tamponner le pH au milieu alcalin et il contribue en partie à l'alcalinité de la liqueur de blanchiment. Une fois le silicate ajouté, le pH de la liqueur

de blanchiment est ajusté par l'ajout de neuf concentrations différentes en hydroxyde de sodium (NaOH). Ensuite, 0,35% de DTPA est additionné dans la liqueur pour inhiber la décomposition de peroxyde par la présence des métaux de transition. Finalement, 3% de peroxyde d'hydrogène est ajouté dans la liqueur. Par la suite, la liqueur est ajoutée à la pâte ainsi que l'eau pour atteindre la consistance désirée. Le mélange entre la pâte et la liqueur s'effectue dans un mélangeur Hobart (figure 3.2) pendant environ 2 minutes afin d'assurer une meilleure homogénéité. Le blanchiment est opéré dans un bain thermostaté à 85°C pendant 60 minutes.

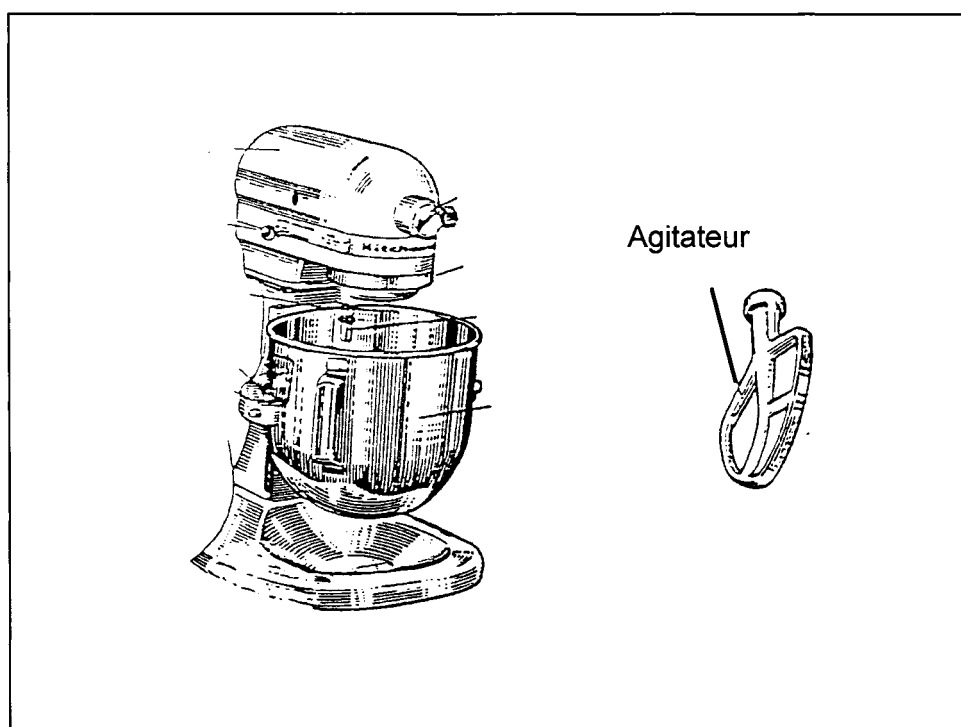


Figure 3.2 Mélangeur de laboratoire Hobart

À la fin de chaque blanchiment, la pâte blanchie est diluée à 1% de consistance, le pH final est noté et le peroxyde résiduel est dosé selon la méthode dans la section 3.1.3. Par la suite, la suspension de la pâte est neutralisée à l'aide du métabisulfite de sodium jusqu'à ce que le pH soit $5,5 \pm 0,5$. Un échantillon de 8 g anhydre de pâte blanchie est prélevé pour la fabrication des feuilles de référence.

3.3 Blanchiment dans un réacteur Quantum

Le réacteur Quantum (figure 3.3) est utilisé essentiellement pour sa capacité de mélange et a pour but de simuler un procédé industriel de dispersion «*disperger*», ce système provoque un cisaillement sur la pâte qui a pour effet de décrocher l'encre résiduelle.



Figure 3.3 Réacteur Quantum utilisé pour le blanchiment dans la seconde partie

Le Quantum est un appareil permettant de faire un mélange tout en régulant la pression et la température. Il est possible de régler les durées de réaction et de mélange pour un fonctionnement automatique, il existe également un mode de fonctionnement manuel.

Dans cette section de notre expérimentation, nous avons utilisé les résultats de la première partie de notre étude en ce qui concerne la charge en NaOH. La concentration de NaOH retenue pour cette partie est de 0,9%.

Dans cette deuxième partie, les paramètres que nous avons fait varier pour étudier leurs influences sont le temps du mélange, la durée de la réaction ainsi que la température. Un échantillon de 250 g de pâte anhydre est utilisé pour chaque blanchiment.

3.3.1 Variation de la vitesse de rotation du réacteur Quantum

Le mode opératoire pour les différents essais est le même, il est similaire à celui utilisé pour déterminer la concentration en NaOH dans la liqueur de blanchiment dans notre première partie avec le mélangeur Hobart. L'utilisation du réacteur Quantum nous permet de varier la vitesse de rotation afin de décrocher le maximum de l'encre résiduelle. Le temps de rotation est fixé à 5 secondes tandis que le nombre de rotation varie de 2, 6 et 12 fois.

3.3.2 Variation du temps de réaction dans le réacteur

La pâte blanchie de l'étape précédente est utilisée pour fabriquer les feuilles de référence servant à comparer les propriétés optiques en terme de nombre de rotation. Par la suite, les blanchiments avec la variation de temps de rétention sont effectués. Dans ces essais le nombre de rotation est fixé à 2 fois pendant la période de réaction et le temps de rétention varie de 15, 30, 60, 90 et 120 minutes.

3.3.3 Variation de la température et du temps de rétention

Dans ces essais, les blanchiments s'effectuent à 95°C afin de vérifier l'efficacité du peroxyde d'hydrogène à une température très élevée. Le temps de rétention varie de 60, 90 et 120 minutes tandis que le nombre de rotation est fixé à 2 fois pendant chacun des temps de réaction.

À la fin des essais, la pâte blanchie est diluée jusqu'à 1% de consistance. La liqueur de blanchiment est récupérée pour doser le peroxyde résiduel et la suspension de la pâte est

neutralisée à l'aide du métabisulfite de sodium. Un échantillon de 8 g de pâte anhydre est prélevé pour fabriquer les feuilles de référence servant à déterminer les propriétés optiques.

3.4 Hyper lavage

3.4.1 Principe

Selon Dorris [53], la formation des feuilles de référence est la meilleure méthode qui sert à mesurer les encres liées après le traitement de la pâte par la technique de l'hyper lavage. La figure 3.4 montre l'appareil «Britt Jar» modifié [53], il consiste en un cylindre en plexiglas muni d'un tamis de 100 mèches à sa base et d'un agitateur servant à éviter que les fibres se colmatent. Une valve au-dessous du tamis lance le drainage de la pâte. Cette technique nécessite un grand volume d'eau pour diluer la suspension de pâte et il permet par contre d'éliminer les encres libres de la suspension.

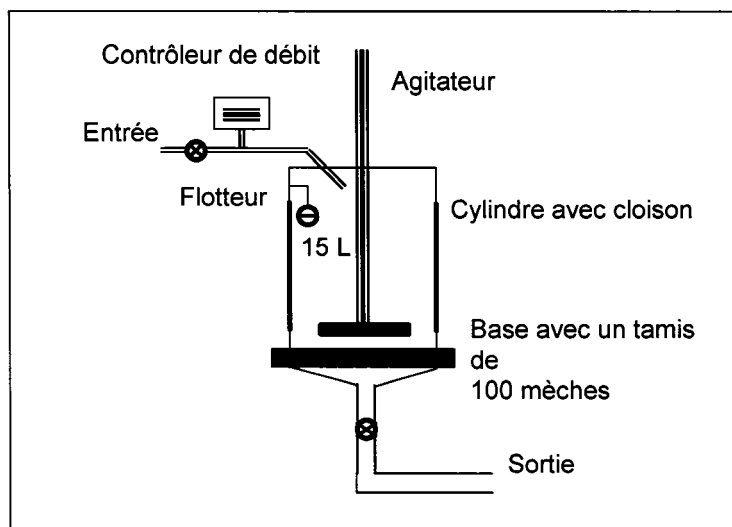


Figure 3.4 Britt Jar modifié pour l'hyper lavage de la pâte désencrée

3.4.2 Procédure

La figure 3.5 illustre le montage que nous avons utilisé pour l'ensemble de nos essais d'hyper lavage. La suspension de 30 grammes secs de pâte diluée dans 2 litres d'eau

déminéralisée chaude est désintégrée pendant 5 minutes. La pâte désintégrée est ensuite mise dans un récipient dans lequel on ajoute 2 litres d'eau déminéralisée à la température de pièce.

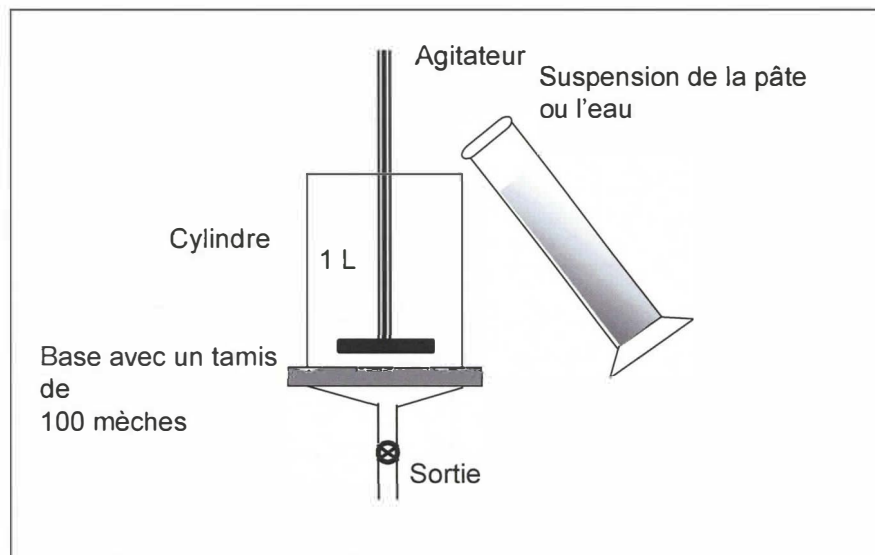


Figure 3.5 Appareil DDJ utilisé pour l'hyper lavage dans notre étude

L'hyper lavage est effectué avec 0,86 g de pâte de la suspension préparée. Cette pâte est introduite dans un litre d'eau déminéralisé. La suspension est ensuite ajoutée dans le DDJ en dispersant cette suspension par un agitateur à une vitesse de 1000 RPM pendant 30 secondes. La valve est ensuite ouverte afin d'évacuer l'eau de la pâte lavée. À la fin du lavage qui nécessite un volume de 3,6 litres d'eau déminéralisé la pâte est récupérée et épaissie pour la fabrication des feuilles de référence.

3.4.3 Blanchiment de la pâte dans le réacteur Quantum suivi d'un hyper lavage

Dans cette partie, nous avons procédé au blanchiment de la pâte dans le réacteur Quantum suivi d'un hyper lavage des pâtes blanchies. Trois températures de blanchiment ont été étudiées. Le tableau 3.3 montre les conditions du blanchiment utilisées.

Tableau 3.3 Conditions de blanchiment d'une pâte hyper lavée dans le réacteur Quantum

Conditions	
Concentration en Na_2SiO_3, %	2
Concentration en NaOH, %	0,9
Concentration en DTPA, %	0,35
Concentration en H_2O_2, %	3
Consistance, %	26
Température de réaction, °C	75, 85, 95
Temps de rétention, min.	60
Rotation, fois	2 de 5 secondes, aucune rotation durant la réaction de blanchiment

3.4.4 Décrochage de l'encre provoqué par le réacteur Quantum et blanchiment

Afin de vérifier l'effet de la température sur le blanchiment au peroxyde d'hydrogène des pâtes désencrées et l'efficacité du réacteur Quantum sur son fort cisaillement qui aurait pour but de décrocher plus d'encre, la pâte désencrée est expérimentée de 4 façons différentes, comme montré dans le tableau 3.4. Le nombre de rotation est de 2 fois de 5 secondes, sans rotation pendant la réaction de blanchiment.

Tableau 3.4 Conditions des essais avant l'hyper lavage

Essais / Conditions	1	2	3	4
Nombre de rotation, fois	2	2	2	2
Température, °C	25	25	85	85
Consistance, %	26	26	26	26
Temps de rétention, min	60	60	60	60
Liqueur de blanchiment	Non	Oui	Non	Oui

Pour les essais qui ont la liqueur de blanchiment, les quantités des produits chimiques utilisés dans ces essais sont identiques à celles présentées dans le tableau 3.2, sauf la concentration en NaOH qui a été fixée à 0,9%. Les pâtes traitées dans le réacteur Quantum et celles traitées avec la liqueur de blanchiment sont ensuite hyper lavées avec l'appareil DDJ comme montré dans la section 3.2.3.2. L'échantillon de chaque essai est prélevé pour la fabrication des feuilles de référence.

3.5 Addition de l'acide oléique dans la liqueur du blanchiment

3.5.1 L'acide oléique

L'acide oléique est un acide gras monoinsaturé omega-9 présent dans diverses sources animales et végétales [68]. Il est l'agent collecteur le plus utilisé dans le domaine de la flottation de la pâte. La figure 3.6 illustre la structure d'acide oléique.

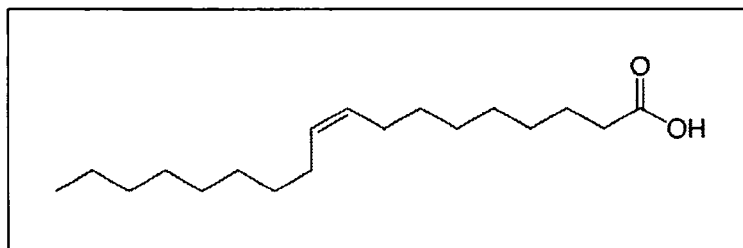


Figure 3.6 Schéma représentant la structure d'acide oléique

La force ionique de l'acide gras est requise pour la précipitation avec les ions de calcium et la flottation effective. L'ionisation peut être réalisée en ajoutant l'acide gras libre au tritrateur à un pH élevé de 9.5-10. Cette opération, nous permet de transformer l'acide libre en anion carboxylate. Si l'addition s'effectue avant la cellule de flottation, le sel de sodium ou de potassium (savons) de l'acide gras doit être employé celui-ci se dissoudra dans l'eau pour former l'anion requis. Ces anions précipités par le cation de calcium, forment les espèces réactives de flottation. Le pH doit être maintenu à 8.5 ou plus afin de permettre la stabilité de la mousse [43].

L'effet d'un acide gras tel que l'acide oléique sur la qualité du papier permet d'accroître la blancheur et la propreté de la pâte. L'acide gras peut également se déposer et réduire la friction du papier recyclé. En générale, il est utilisé dans un rôle du collecteur, de stabilisateur de la mousse et de disperser. La concentration d'acide gras utilisée peut varier entre 0,5 et 3% [69].

3.5.2 Conditions de blanchiment

Dans notre étude, l'addition de l'acide oléique dans la liqueur de blanchiment a pour but de provoquer un effet d'entraînement plus grand des particules d'encre. Les particules d'encre auront tendance à plus flotter lors de la dilution de la pâte après le blanchiment. Le blanchiment s'effectue dans le réacteur Quantum.

Le tableau 3.5 montre les conditions de blanchiment avec l'ajout de l'acide oléique dans la liqueur de blanchiment.

Tableau 3.5 Conditions de blanchiment en présence d'acide oléique

Conditions	
Concentration en Na_2SiO_3, %	2
Concentration en NaOH, %	0,9
Concentration en DTPA, %	0,35
Concentration en H_2O_2, %	3
Concentration en acide oléique, %	0,5 et 1,0
Consistance, %	26
Température de réaction, °C	85
Temps de rétention, min.	60
Rotation, fois	2 de 5 secondes, aucune rotation durant la réaction de blanchiment

3.6 Fractionnement de la pâte désencrée et blanchiment des fibres fractionnées

Dans cette partie, nous avons concentré nos efforts sur le fractionnement des fibres. L'objectif de cette partie est d'évaluer la réponse au blanchiment en fonction de la longueur des fibres et de vérifier également la quantité d'encre à chaque fraction de pâte.

3.6.1 Principe et appareil

La longueur des fibres est un facteur important car plusieurs propriétés physiques des papiers en dépendent. En ce qui concerne les propriétés optiques, plusieurs recherches

ont montré que la longueur des fibres affecte également la réponse au blanchiment [37, 53, 70, 71].

Dans notre étude, nous avons utilisé la classification «Bauer-McNett» (figure 3.7) pour fractionner nos fibres. Ce dernier appareil est composé de cinq bassins possédant chacun un tamis de 335 cm^2 sur une de ces faces et un agitateur tournant à 580 RPM.

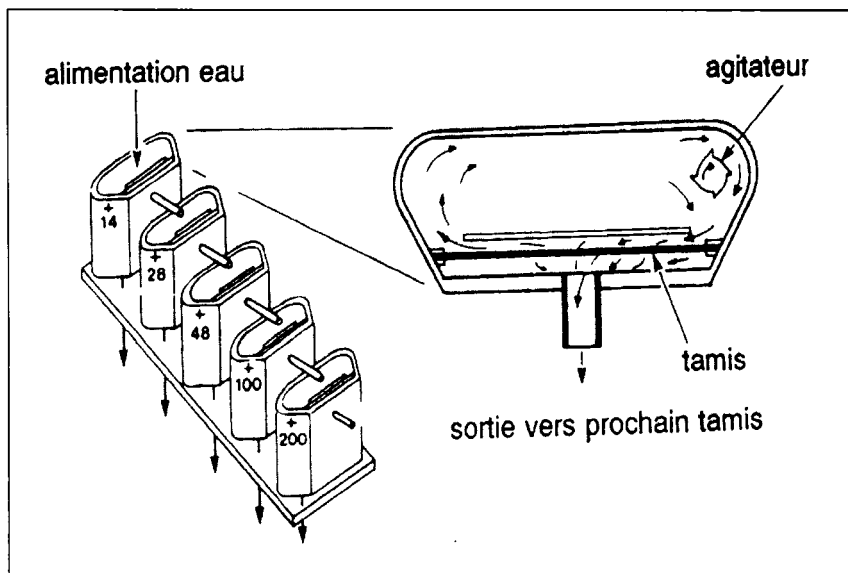


Figure 3.7 Classification Bauer-Mcnett

La pâte est placée dans le bassin du haut qui possède le tamis le plus grossier, et la pâte circule en cascade vers le bas où se trouvent des tamis de plus en plus fins. La fraction R14 retient les fibres les plus longues tandis que la fraction R100/R200 retient les plus courtes. Chaque fraction de pâte retenue par un tamis est filtrée et pesée.

3.6.2 Procédure

A) *Classification des fibres*

Selon la norme TAPPI T233 cm-95, nous avons utilisé une quantité de pâte de 24 grammes sec. La pâte est ensuite placée dans un désintégrateur et le volume est ajusté à 2 litres avec de l'eau du robinet en ébullition. Après la désintégration de 5 minutes, la suspension de pâte est versée dans un récipient de 10 litres. Par la suite, un volume de

2,8 litres d'eau du robinet est ajouté dans ce même récipient. La mesure de la consistance de cette suspension est ensuite prise afin de permettre le calcul du volume nécessaire pour obtenir une masse de 10 grammes sec de pâte. Par la suite, ce volume est ajouté dans l'appareil «Bauer McNett» pour classer la pâte pendant 20 minutes. La pâte fractionnée est filtrée et bien identifiée pour l'étape suivante.

B) Blanchiment dans le mélangeur de laboratoire Hobart

Après l'étape de fractionnement de la pâte, les mélanges de différentes fractions de pâte sont blanchies séparément afin d'évaluer l'efficacité du blanchiment au peroxyde d'hydrogène en terme de la blancheur ISO. Les conditions de blanchiment sont identiques à celles présentées dans la section 3.2.1. Un échantillon de 15 g anhydre est retiré pour chaque blanchiment. Le mélange entre la pâte et la liqueur de blanchiment s'effectue dans le mélangeur «Hobart» pendant 2 minutes. Après ce mélange, le blanchiment est réalisé dans un bain thermostaté à 85°C pendant 60 minutes. Le tableau 3.6 montre les essais de blanchiment selon les fractions de la pâte désencrée.

Tableau 3.6 Essais de blanchiment en fonction des fractions de la pâte désencrée

Essais de blanchiment	Fraction
1	Non-fractionnée
2	R14 R14/R28 R28/R48 R48/R100 R100/R200
3	R14 R14/R28 R28/R48 R48/R100
4	R14 R14/R28 R28/R48

À la fin du blanchiment, la pâte est diluée jusqu'à 1% de consistance, la liqueur de blanchiment est récupérée pour l'analyse du peroxyde résiduel. La suspension de la pâte est neutralisée à l'aide du métabisulfite de sodium jusqu'à ce que le pH soit $5,5 \pm 0,5$. Un échantillon de 8 grammes anhydres de pâte blanchie est prélevé pour la fabrication des feuilles de référence.

Chapitre 4 - Résultats et discussions

Dans ce chapitre, nous discutons des résultats obtenus au cours de nos séries d'expériences. Pour faciliter l'interprétation des données, nous avons divisé les résultats en cinq sections, selon l'expérimentation présentée dans le chapitre 3. Les propriétés optiques sont analysées plus en détails dans chaque section. Dans les discussions de nos résultats, nous utilisons le terme «peroxyde» pour identifier le peroxyde d'hydrogène.

4.1 Partie I : Efficacité du blanchiment au peroxyde sur la pâte non-traitée et la pâte prétraitée au DTPA dans un mélangeur Hobart

Cette première partie de l'étude vise à déterminer l'efficacité du peroxyde sur le blanchiment de la pâtes non-traitée et de la pâte prétraitée au DTPA en terme des propriétés optiques en utilisant un mélangeur Hobart.

4.1.1 Impact de l'hydroxyde de sodium sur les propriétés optiques

La figure 4.1 présente le niveau de blancheur (% ISO) des pâtes blanchies avec différentes concentrations en hydroxyde de sodium (NaOH) dans la liqueur de blanchiment.

4.1.2 Niveau de blancheur (% ISO)

La blancheur initiale de la pâte désencrée que nous avons utilisée est de 60,2% ISO. Les résultats obtenus après le blanchiment, nous montrent que dans le cas de la pâte non-traitée, le niveau de blancheur augmente graduellement de 60,2% à 66,3% ISO. Le niveau de blancheur s'accroît avec la concentration en hydroxyde de sodium de 0 à 0,9%. Le gain de blancheur maximal est de 6,1 points pour une application de 0,9% d'hydroxyde de sodium. Par contre, nous pouvons remarquer qu'une augmentation de la concentration en hydroxyde de sodium supérieure à 0,9% réduit la blancheur.

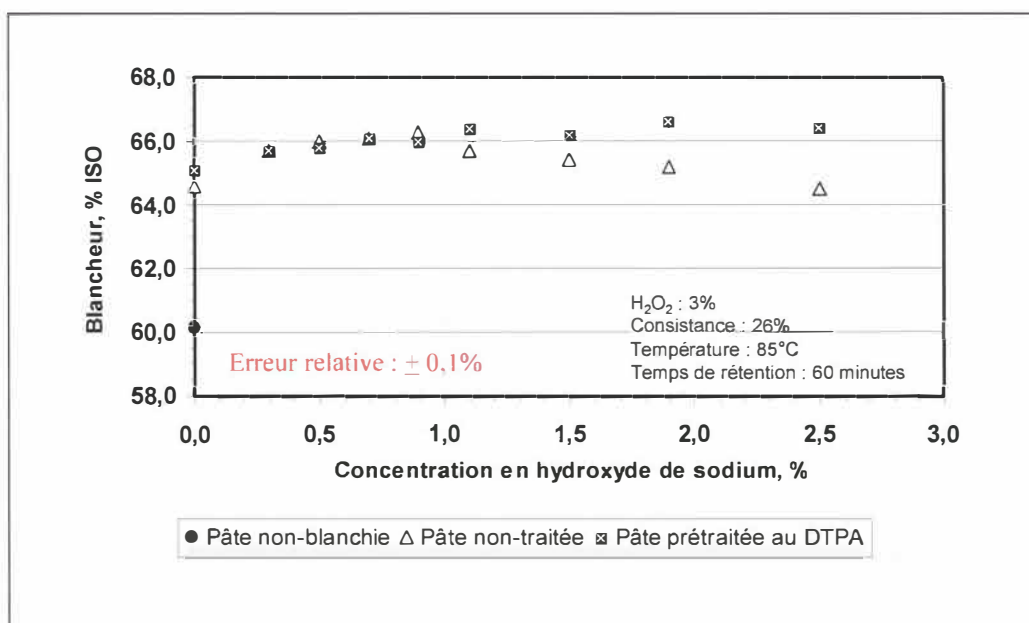


Figure 4.1 Blancheur en fonction de la concentration en NaOH

Ces résultats sont en accord avec la théorie et la littérature puisque l'anion perhydroxyle, responsable de l'action blanchissante dans le blanchiment au peroxyde est formé par l'ajout d'hydroxyde de sodium, une concentration trop élevée en hydroxyde de sodium entraîne la décomposition du peroxyde suite à la formation d'oxygène moléculaire qui occasionne le noircissement de la pâte.

Dans le cas de la pâte prétraitée au DTPA, nous pouvons constater que le niveau de blancheur est plus stable à une augmentation de la concentration en hydroxyde de sodium. Le DTPA ajouté lors du prétraitement de la pâte inhibe l'activité des ions métalliques dans leur rôle de la catalyse par la formation des complexes organométalliques solubles. Cette formation de complexes réduit la possibilité de formation d'oxygène moléculaire dans notre milieu réactionnel.

Les résultats présentés à la figure 4.1 pour la pâte non traitée nous montrent qu'à une concentration de 0,9% en NaOH, le gain de blancheur est de 6 points, nous pouvons constater que le blanchiment de la pâte prétraitée au DTPA donne des résultats similaires.

Les figures 4.2 et 4.3 nous montrent la différence de blancheur du côté toile par rapport au côté feutre des pâtes non traitées et prétraitées au DTPA.

Compte tenu que notre pâte est un mélange de papier journal et de magazine, nous avons évalué le niveau de blancheur du côté toile et du côté feutre de nos feuilles standards. Nous avons constaté que la présence de charges minérales dans notre pâte désencrée blanchie ainsi que le contenu en fibres fines influençaient le niveau de blancheur. Pour la pâte avec et sans prétraitement, nous avons observé une différence approximative de 2 points entre le côté toile et le côté feutre selon la charge de NaOH.

Lors de la formation de la feuille de 4 grammes secs dans la formette anglaise, l'étape de drainage de la suspension de fibres induira éventuellement la formation d'un matelas de fibres. Par la suite, les charges minérales ainsi que les fibres fines se retrouvent en plus grande concentration sur le côté feutre, ceci ayant pour effet résultant une blancheur légèrement supérieure

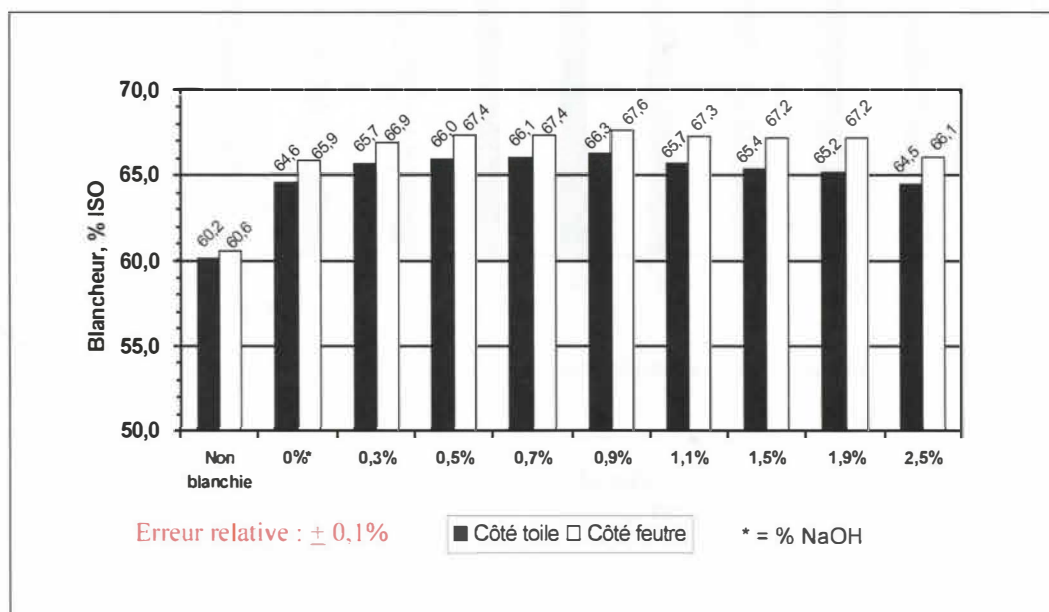


Figure 4.2 **Différence de blancheur entre le côté toile et le côté feutre des pâtes blanchies non-traitées**

L'un de nos objectifs consistait à évaluer la réponse du blanchiment au peroxyde à haute température et à haute consistance. Les résultats obtenus nous montrent qu'un blanchiment à haute température (85°C) et à haute consistance (26%) sur la pâte désencrée nous permet d'obtenir un maximum de 66,2% ISO en présence de 0,9% d'hydroxyde de sodium. Ces résultats sont supérieurs à ceux obtenus par l'étude de Phan [72] qui blanchissait une pâte désencrée à une température de 70°C et à moyenne consistance (12%), elle obtenait 64,5% ISO avec 2,36% d'hydroxyde de sodium. Comparativement aux résultats de Phan, le blanchiment à haute température et à haute consistance permet de diminuer significativement la concentration en hydroxyde de sodium (62%). Ce résultat a un impact considérable sur la réduction de la charge d'effluent.

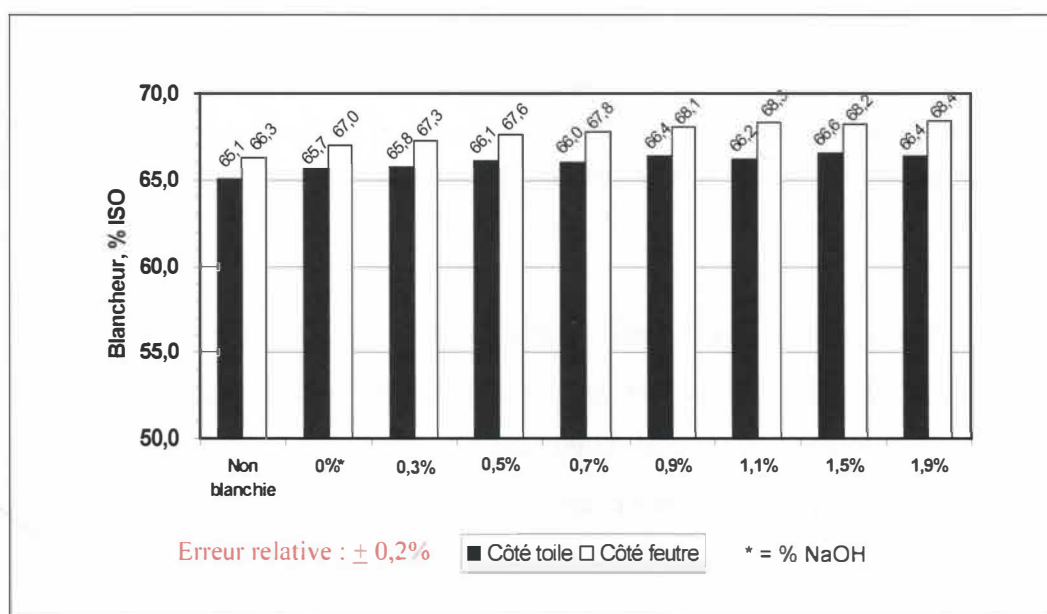


Figure 4.3 Différence de blancheur entre le côté toile et le côté feutre des pâtes blanchies prétraitées au DTPA

4.1.3 Coordonnée de couleur b*

La coordonnée de couleur b* mesure un changement de couleur du bleu au jaune. Plus la valeur positive de la coordonnée de couleur b* est élevée, plus la teinte jaune est prononcée.

La figure 4.4 montre les résultats de coordonnées de couleur b^* en fonction de la concentration en hydroxyde de sodium de la pâte initiale, de la pâte non-traitée et de la pâte prétraitée au DTPA.

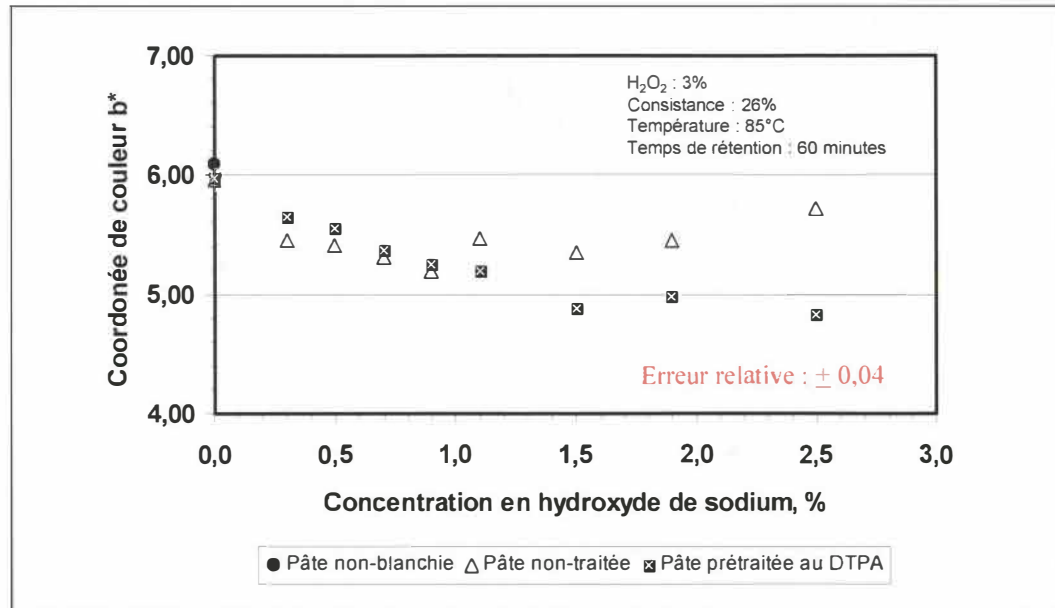


Figure 4.4 Coordonnée de couleur b^* en fonction de la concentration en NaOH

La valeur b^* de la pâte non blanchie est de 6,09. Dans le cas de la pâte non-traitée, nous remarquons que les valeurs de b^* diminuent avec une augmentation de la concentration en hydroxyde de sodium puis tendent à augmenter lorsque la concentration en alcali est trop élevée. À une concentration de 0,9% d'hydroxyde de sodium, la valeur de b^* atteint un minimum (5,20). Compte tenu de la présence d'une forte teneur en pâte mécanique, il est tout à fait normal que l'accroissement de la concentration en NaOH provoque une augmentation de la teinte jaune (jaunissement).

Dans le cas de la pâte prétraitée au DTPA et pour des concentrations en hydroxyde de sodium supérieures à 0,9%, les valeurs de b^* sont plus faibles par rapport à la pâte non-traitée. Ces résultats résultent de l'enlèvement partiel des métaux lors du prétraitement de la pâte au DTPA. Les pâtes prétraitées au DTPA possèdent les valeurs de b^* plus faibles que les pâtes non-traitées puisque le jaunissement est également dû à la formation

de certains complexes colorés entre des cations métalliques et des composés phénoliques.

4.1.4 Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)

La figure 4.5 représente les valeurs de ERIC obtenues suite au blanchiment au peroxyde d'hydrogène pour des concentrations d'hydroxyde de sodium variant de 0% à 2,5%. La valeur de ERIC de la pâte initiale non blanchie est de 169 ppm. Les résultats montrent que le prétraitement de la pâte au DTPA n'a aucun impact sur la concentration effective en encre résiduelle.

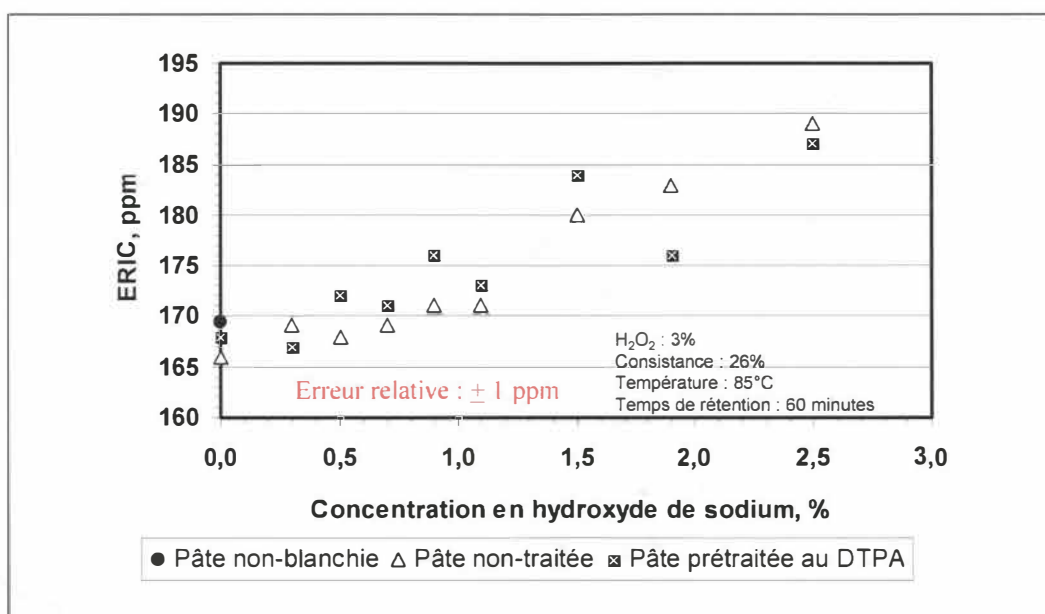


Figure 4.5 Concentration effective en encre résiduelle en fonction de la concentration en NaOH

Les valeurs de ERIC s'accroissent avec l'augmentation de la concentration d'hydroxyde de sodium. Nous supposons que le gonflement de la fibre apporté par une plus grande concentration en NaOH entraîne un détachement et un fractionnement supplémentaire de l'encre. Le fractionnement des particules d'encre entraîne une plus grande redéposition

d'encre à la surface des fibres telles que constatées par certains travaux de Dorris [52-53].

L'encre résiduelle est un facteur important qui affecte l'efficacité du blanchiment au peroxyde d'hydrogène. Les valeurs de ERIC obtenues de 170 ppm représentent des valeurs élevées, ce qui explique en partie que nous ne pouvons pas obtenir des niveaux de blancheur supérieurs à 66,3% ISO.

4.1.5 Consommation du peroxyde d'hydrogène

La figure 4.6 représente le niveau de blancheur en fonction du peroxyde consommé. Nous pouvons constater que, dans le cas des pâtes non-traitée et prétraitée au DTPA, le niveau de blancheur est indépendant du peroxyde consommé. Lors du blanchiment de la pâte non-traitée, la consommation du peroxyde varie entre 1,34% et 2,94%, la blancheur augmente avec la consommation du peroxyde jusqu'à un certain palier, puis elle diminue. De façon similaire avec le blanchiment de la pâte prétraitée au DTPA, la consommation varie de 0,96% à 2,48%.

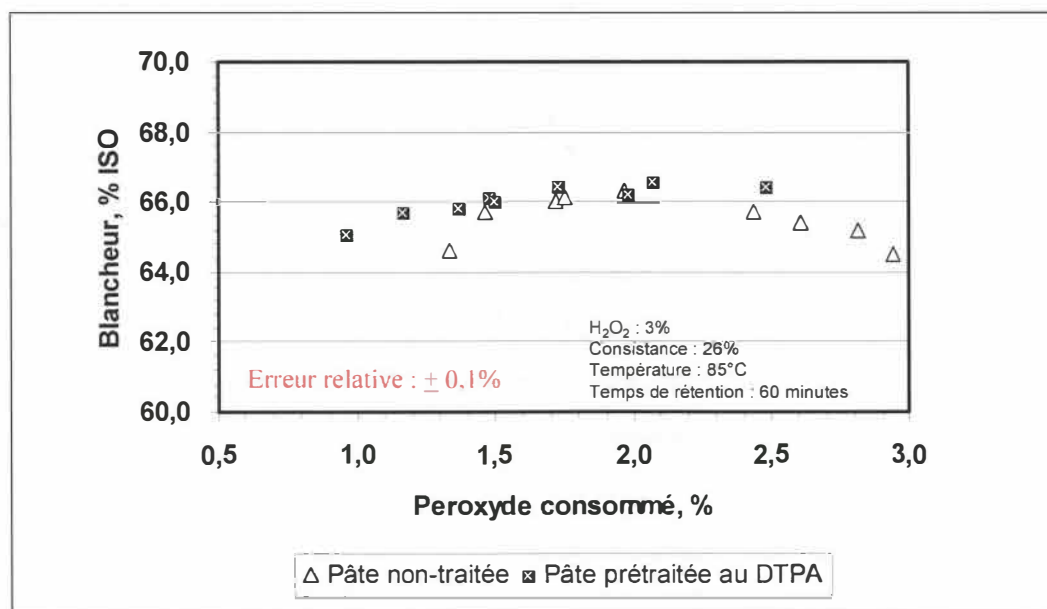


Figure 4.6 Blancheur en fonction du peroxyde consommé

Pour les deux types de pâtes, l'augmentation et la diminution de la blancheur sont dues à l'ajout d'hydroxyde de sodium dans la liqueur de blanchiment. À la concentration optimale en hydroxyde de sodium, l'anion perhydroxyle produit une augmentation de la blancheur, tandis qu'une concentration excessive en hydroxyde de sodium entraîne la décomposition du peroxyde provoquant la formation de radicaux libres entraînant une diminution de la blancheur.

Les résultats montrent également qu'une augmentation de la consommation du peroxyde n'est pas synonyme d'une blancheur plus élevée ou d'une meilleure réponse au blanchiment. À une blancheur identique, le prétraitement au DTPA permet de consommer une moins grande concentration de peroxyde, ceci étant dû à l'effet de l'enlèvement partiel des métaux de transition lors du prétraitement de la pâte au DTPA.

4.2 Partie II : Efficacité du blanchiment dans un réacteur Quantum

Tel que discuté dans la section 3.2.2, le réacteur Quantum est utilisé dans nos travaux pour sa capacité de mélange et pour provoquer un cisaillement sur la pâte afin de décrocher l'encre résiduelle. Dans cette partie de notre étude, nous présentons les résultats des blanchiments de la pâte désencrée dans un réacteur Quantum avec la variation de 3 paramètres : nombre de révolutions, temps de révolution et température de la réaction.

Dans cette partie II, nos travaux ont été effectués sur la pâte désencrée non-traitée, puisque le prétraitement de la pâte au DTPA n'améliore pas significativement les propriétés optiques du papier tel que démontré dans la première partie I de nos travaux. Pour cette seconde partie, nous avons utilisé la concentration optimale en NaOH (0,9%) déterminée dans notre première partie de nos travaux.

4.2.1 Efficacité du blanchiment dans le réacteur Quantum avec une variation du nombre de révolutions

Les variations du nombre de révolution du rotor ont pour but de déterminer le nombre de révolution optimale qui nous permettra de produire une friction intense entre les fibres de manière à provoquer le fractionnement des particules d'encre et à en réduire la taille.

Pour tous nos échantillons, avec et sans rotation, nous avons effectué un certain nombre initial de révolutions ainsi lorsque dans notre figure 4.7, le terme «2SR» est employé, celui-ci correspond à deux rotations de cinq secondes, le terme «6SR» correspond à six rotations de 5 secondes et le terme «12SR» correspond à douze rotations de 5 secondes. Le terme SR correspond donc à nos essais «sans rotation».



Pour les échantillons avec rotation, le terme «avec rotation (AR)» correspond une rotation automatique *supplémentaire* d'une durée de 5 secondes à toutes les 2 minutes pendant 60 minutes. Pour la suite de nos travaux avec le réacteur Quantum, nous utilisons donc les termes SR pour «sans rotation» et AR «avec rotation». Comparativement au terme AR «avec rotation», le terme SR «sans rotation» a donc uniquement des rotations initiales.

4.2.2 Niveau de blancheur ISO avec le réacteur Quantum

La figure 4.7 montre le niveau de blancheur obtenu des pâtes en utilisant le réacteur Quantum avec des variations du nombre de révolutions du rotor.

La blancheur initiale de la pâte désencrée pour cette section est de 58,9 % ISO. Les niveaux de blancheur obtenus en fonction du nombre initial de révolutions et des rotations supplémentaires effectuées durant la réaction sont respectivement de 64,1 %ISO pour 2 révolutions initiales plus une rotation automatique *supplémentaire* d'une durée de 5 secondes à toutes les 2 minutes pendant 60 minutes, 63,2 %ISO pour

6 révolutions plus une rotation automatique *supplémentaire* d'une durée de 5 secondes à toutes les 2 minutes pendant 60 minutes et 62,6 %ISO pour 12 révolutions plus une rotation automatique *supplémentaire* d'une durée de 5 secondes à toutes les 2 minutes pendant 60 minutes, dans notre terminologie ces échantillons sont considérés comme «avec rotation». Le gain de blancheur maximal obtenu dans ces essais est de 5,2 lorsque la révolution initiale est de 2 rotations de cinq secondes.

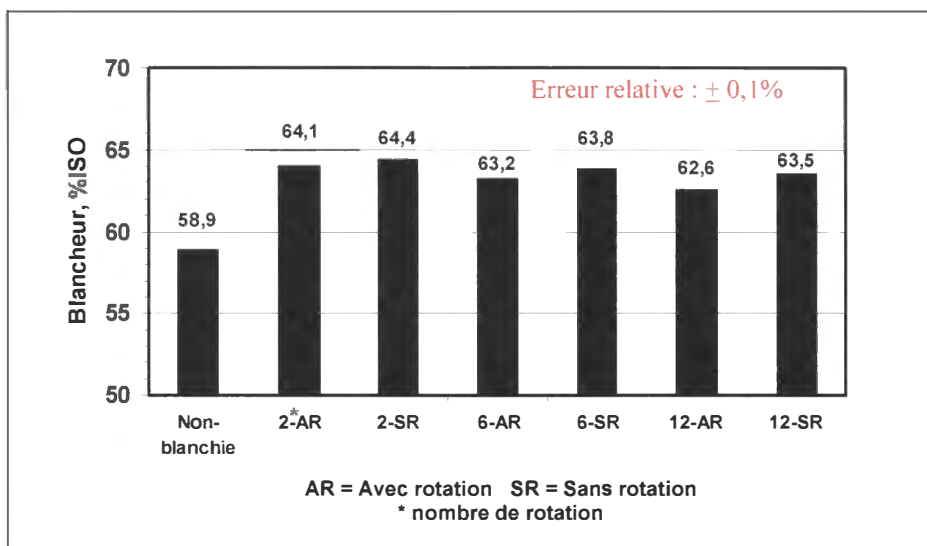


Figure 4.7 Niveau de blancheur des pâtes en fonction du nombre de révolutions

Nous pouvons constater également que l'accroissement du nombre de révolution initiale (2, 6, 12) entraîne une diminution du niveau de blancheur, dans notre terminologie ces échantillons sont considérés comme «sans rotation». Nous supposons que cette différence est attribuable à la conception du réacteur qui nous obligeait à ouvrir celui-ci pour ramener la pâte accumulée sur les parois vers le centre. Ces arrêts occasionnaient également une légère diminution de la température ce qui peut avoir une influence négative sur le niveau de blancheur.

Les niveaux de blancheur obtenus pour ces échantillons considérés comme «sans rotation» sont respectivement 64,4 %ISO, 63,8 %ISO et 63,5 %ISO. Le gain de blancheur maximal de 5,5 points.

Dans les deux cas (avec et sans rotation supplémentaire), nous pouvons observer que le gain de blancheur maximal est d'environ 5 points. Ce gain n'est pas plus important que celui obtenu lors de la première partie de nos travaux (6 points). Ces résultats montrent que l'effet de cisaillement escompté par l'utilisation du réacteur pour fractionner l'encre résiduelle ne se produit pas. L'essai qui donne le meilleur niveau de blancheur est l'essai avec uniquement deux révolutions initiales sans rotation supplémentaires (2SR : 64,4 %ISO).

Suite à ces résultats dans le réacteur, nous avons évalué l'effet sur la blancheur de la prise d'échantillons. La figure 4.8 représente la variation du niveau de blancheur observée après les divers cycles de révolutions dans le réacteur pour des feuilles standard de 1,2 grammes et des «pads» de 4 grammes.

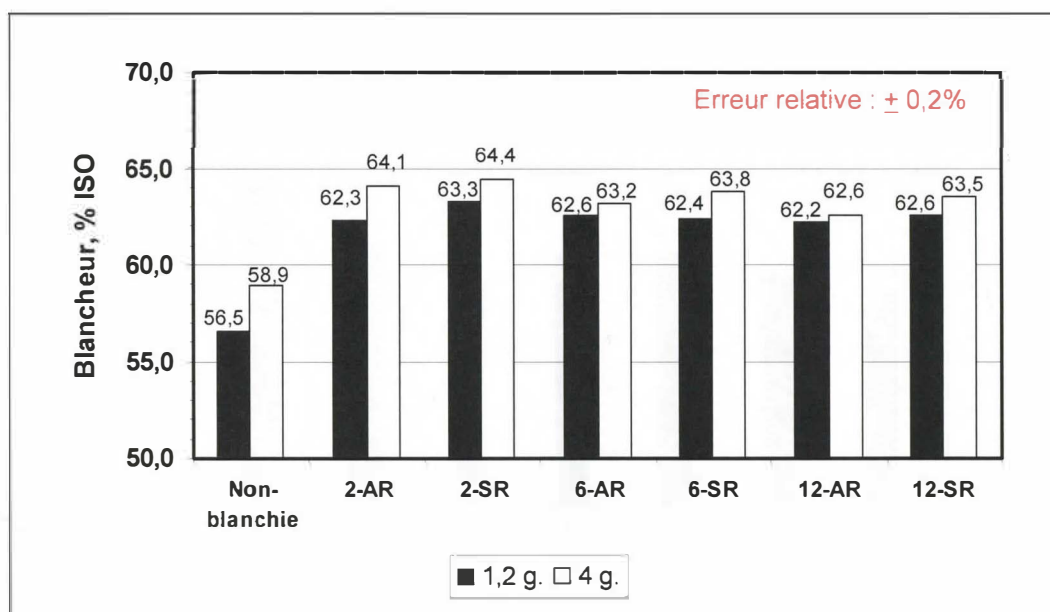


Figure 4.8 Effet sur la blancheur de l'eau utilisée dans la fabrication des feuilles

Nous pouvons constater une différence de blancheur de 1 à 2 points plus bas pour des feuilles de 1,2 grammes comparativement aux feuilles de 4 grammes. Cette différence est attribuable à l'eau utilisée dans chaque procédure de la fabrication des feuilles. L'eau du robinet utilisée dans la fabrication des feuilles de 1,2 grammes est d'une couleur

jaunâtre comparativement à l'eau déminéralisée utilisée dans la fabrication des feuilles de 4 grammes. Ces résultats montrent que l'eau utilisée dans la fabrication du papier affecte le niveau de blancheur du papier. Par contre, cette différence pour les deux types de fabrication de nos échantillons est également due à la perte plus importante des charges minérales lors de la fabrication des feuilles de 1,2 grammes, car il y a moins de fibres qui retiennent ces charges provenant du papier magazine.

4.2.3 Coordonnée de couleur b*

La figure 4.9 nous montre les résultats obtenus concernant la coordonnée b* sur des feuilles de 1,2 grammes et des feuilles de 4 grammes après un blanchiment dans le réacteur Quantum. Les résultats montrent également l'effet du nombre initial (départ) de révolutions (2, 6 et 12) sur la coordonnée.

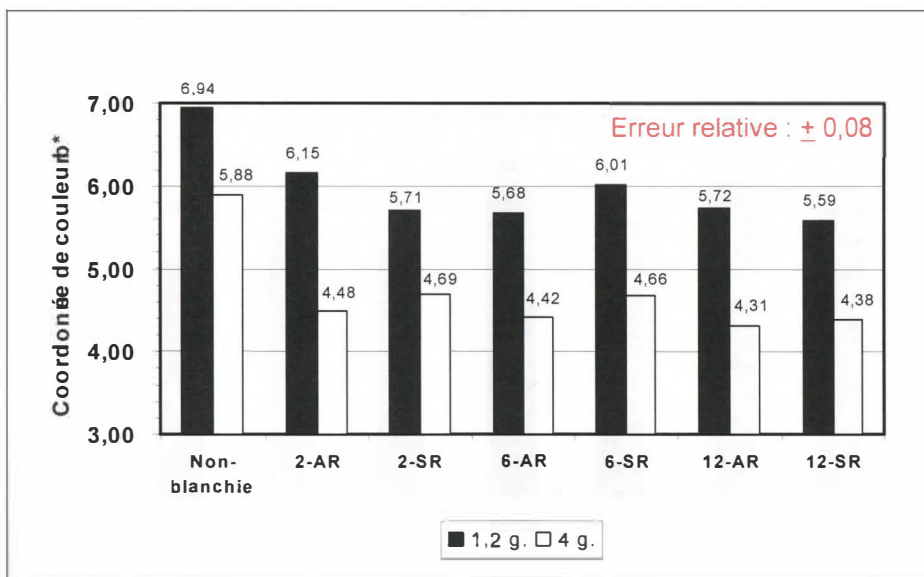


Figure 4.9 Effet de l'eau dans la fabrication des feuilles sur la coordonnée b*

La teinte jaune (coordonnée b*) de la pâte non blanchie des feuilles 1,2 grammes et de 4 grammes sont respectivement de 6,94 et 5,88. Nous pouvons constater que la valeur de b* pour les pâtes blanchies est moindre que la pâte non blanchie mais que les feuilles de 1,2 grammes ont une coordonnée b* supérieure. Comme dans notre section 4.2.1.1, cette variation est attribuable à l'eau du robinet et à la perte de matières fines.

Les résultats obtenus montrent également que les blanchiments au peroxyde avec un changement du nombre de révolutions permettent de réduire très légèrement la teinte jaune de la pâte.

4.2.4 Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)

La figure 4.10 illustre les valeurs de ERIC obtenues suite aux blanchiments de la pâte dans le réacteur Quantum en fonction du nombre de révolutions initiales (2, 6 et 12). La valeur initiale de ERIC pour la pâte désencrée utilisée est de 209 ppm. En général, les variations du niveau de blancheur présentée à la figure 4.7 et celles de l'encre résiduelle (ERIC) devraient être liées. La présence d'encre résiduelle diminue le niveau de blancheur de la pâte donc plus la valeur de ERIC est faible plus la blancheur doit être élevée.

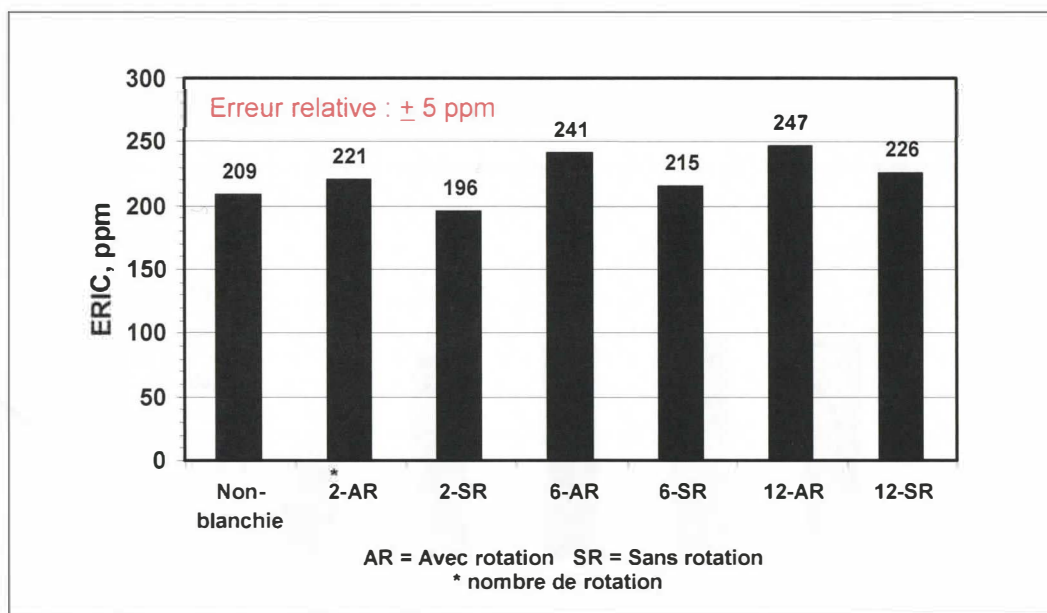


Figure 4.10 Encre résiduelle des pâtes blanchies dans le réacteur Quantum en fonction du nombre de révolution

Nos résultats nous montrent que malgré l'utilisation du réacteur Quantum, nous n'observons aucune diminution de la valeur de ERIC. La valeur de ERIC dans la pâte demeure une valeur élevée et nous indique que la présence de l'encre résiduelle

influencera le niveau de blancheur de la pâte blanchie et par conséquent imposera une limite à notre efficacité de blanchiment au peroxyde d'hydrogène.

4.2.5 Efficacité du blanchiment dans le réacteur Quantum en fonction du temps de réaction

Dans cette partie du projet, nos travaux ont porté sur les blanchiments dans le réacteur Quantum en variant le temps de réaction. Pour nos essais de blanchiment dans le réacteur, nous avons retenues les conditions sans rotation c'est-à-dire celle qui correspond à deux rotations de cinq secondes (2SR). Pour ces essais, nous avons fait varier le temps de réaction de 15 à 120 minutes.

4.2.6 Blancheur ISO en fonction du temps de réaction

La figure 4.11 montre le niveau de blancheur obtenu sur des feuilles standards avec 4 différents temps de réaction.

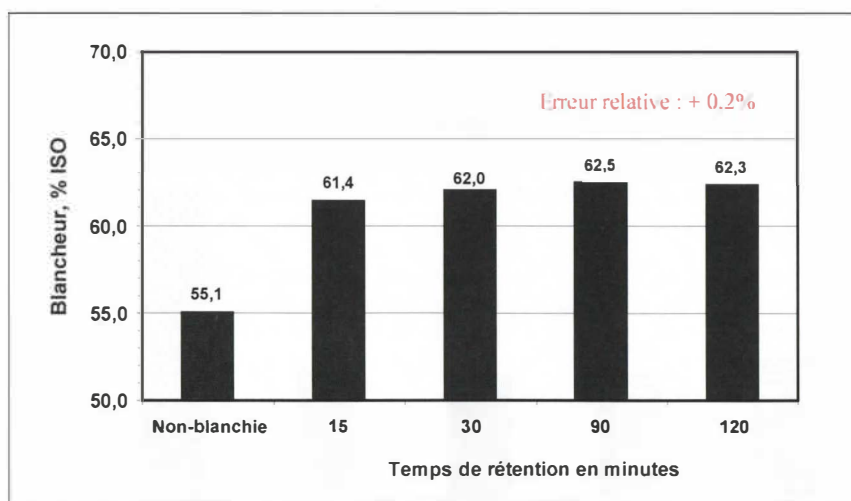


Figure 4.11 Niveau de blancheur obtenu dans une réacteur Quantum en fonction du temps de réaction

La blancheur initiale de la pâte désencrée pour ces expérimentations est de 55,1 % ISO. Les niveaux de blancheur obtenus en fonction des temps de réaction sont 61,4 %ISU pour un temps de réaction de 15 minutes, 62,0 pour 30 minutes de réaction, 62,5 pour 90

minutes de réaction et 62,3 pour 120 minutes de réaction. Le niveau de blancheur initiale de notre pâte désencrée est inférieur de 3,8 points comparativement aux pâtes utilisées dans les sections précédentes, le vieillissement de la pâte est la cause de cette diminution du niveau de blancheur. La blancheur maximale obtenue de la série précédente était de 64,4 % ISO (60 minutes de temps de rétention) pour une blancheur initiale de 58,9 % ISO. Nous pouvons constater que le gain de blancheur maximal pour notre présente série est de 7,4 points tandis que pour la série précédente la blancheur était de 5,5 points. Considérant notre blancheur initiale, nous pouvons considérer que nos résultats sont équivalents.

Les résultats montrent que la stabilité du gain de blancheur est atteinte à partir de 90 minutes, mais le gain de blancheur n'augmente pas significativement après 30 minutes.

4.2.7 Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)

La figure 4.12 représente la valeur de ERIC exprimée en partie par million (ppm) en fonction de la variation du temps de réaction.

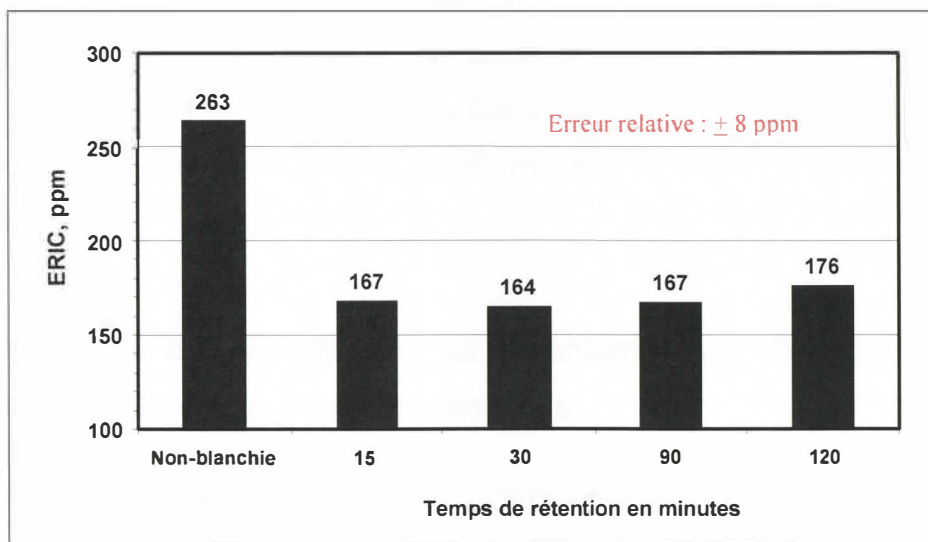


Figure 4.12 ERIC des pâtes blanchies dans le réacteur Quantum en fonction du temps de réaction

La valeur initiale de ERIC de la pâte non blanchie est de 263 ppm. Après blanchiment, nous pouvons remarquer une baisse de la concentration d'encre résiduelle. La variation du temps de réaction ne semble pas avoir un impact sur la concentration d'encre résiduelle. La diminution de ERIC observée après blanchiment peut être attribuable au fractionnement de l'encre causé par le vieillissement de notre pâte. Selon Sjöström et *al.* [73], les quantités de très petites particules dans la plage submicronique sont considérablement plus élevées dans le cas d'échantillons de pâtes désencrées vieilles.

Les produits chimiques utilisés lors du blanchiment jouent aussi un rôle important sur cette diminution d'encre. La soude caustique ajoutée dans la liqueur du blanchiment aide à décrocher des particules d'encre, mais également aide à la fragmentation d'encre. Le peroxyde sert à blanchir la pâte en décolorant les groupements chromophores de la lignine. Le silicate de sodium joue un rôle de stabilisateur du peroxyde, il peut également être un agent dispersant, qui maintient la suspension des fibres et de l'encre dans un état dispersé, l'empêchant ainsi de se redéposer sur la surface de la fibre [74].

4.2.8 Consommation du peroxyde d'hydrogène

Nous observons dans la figure 4.13 que la consommation du peroxyde augmente considérablement après 30 minutes du temps de réaction tandis que la blancheur s'accroît légèrement. Puisque la réaction a lieu à une température élevée, la plus grande consommation du peroxyde à partir de 90 minutes est due à la décomposition du peroxyde.

4.2.9 Efficacité du blanchiment au Quantum avec changement de la température et du temps de rétention

Notre troisième série d'essais consiste à blanchir de la pâte désencrée dans le réacteur Quantum, mais pour cette série nous avons fixée la température à 95°C. Afin d'effectuer une comparaison de nos résultats précédents avec ceux de cette série, nous avons fixé à 2

révolutions de notre rotor (2 x 5 secondes avant le début de la réaction) et fait varier le temps de réaction à 60, 90 et 120 minutes.

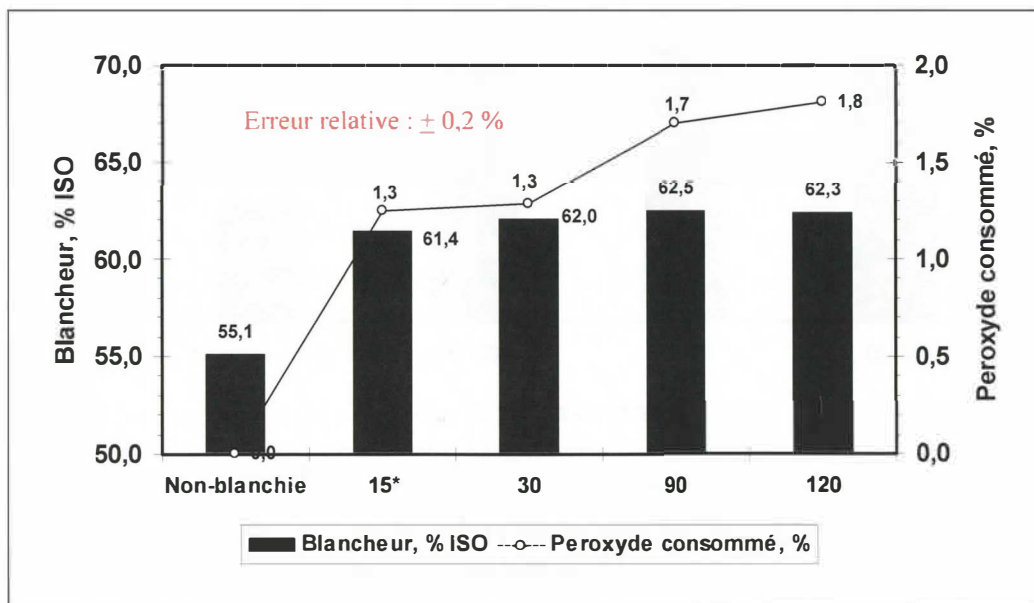


Figure 4.13 Niveau de blancheur et de peroxyde consommé en fonction du temps de réaction

4.2.10 Niveau de blancheur à une température de 95°C

La figure 4.14 représente l'efficacité du blanchiment à 95 °C dans le réacteur Quantum. La blancheur initiale de notre pâte est de 56,2 % ISO.

Le tableau 4.1 montre que la blancheur maximale obtenue lors de notre première série d'expériences (2 SR : 2 x 5 secondes de rotation sans rotation supplémentaire durant la réaction) est de 64,4 % ISO pour une blancheur initiale de 58,9 % ISO.

Pour notre seconde série d'expériences, le niveau de blancheur maximale à une température de 85 °C pendant 90 minutes est de 62,5 % ISO pour une blancheur initiale de 55,1 % ISO. Dans cette série, la blancheur commence à plafonner à partir de 60 minutes, la blancheur obtenue est de 64,5 % ISO pour une blancheur initiale de 56,2 % ISO.

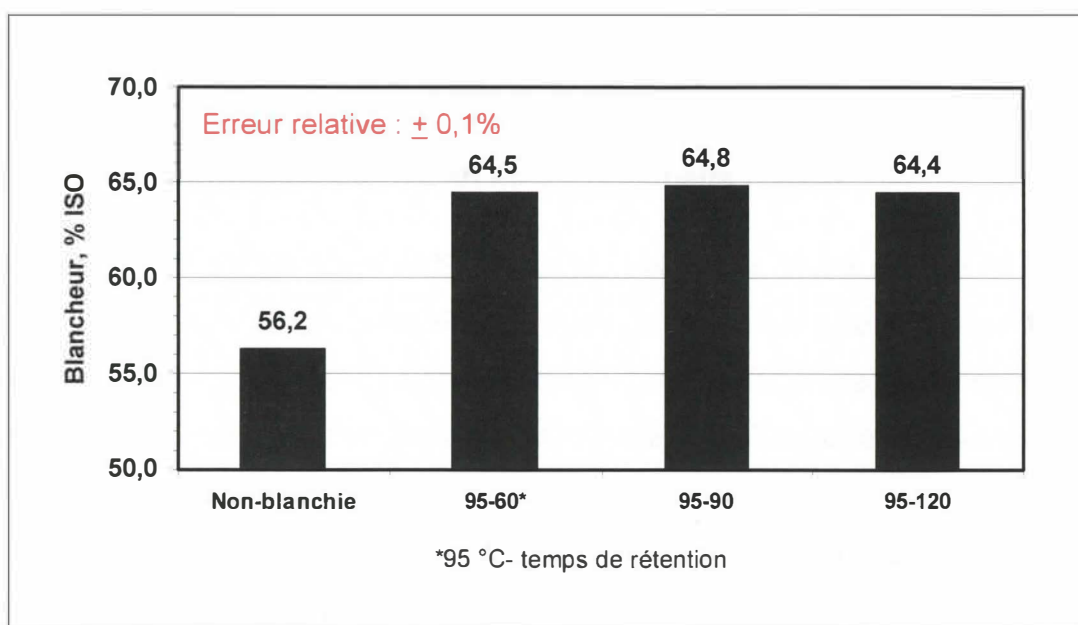


Figure 4.14 Blancheur des pâtes blanchies au Quantum à 95°C avec changement du temps de rétention

Tableau 4.1 Comparaison de la blancheur entre trois séries

Série	Optimisation du niveau de blancheur	Blancheur initiale, % ISO	Blancheur maximale, % ISO
1	2-SR	58,9	64,4
2	85 °C pendant 90 minutes	55,1	62,5
3	95°C pendant 60 minutes	56,2	64,5

Le plafonnement de la blancheur observé dans ces essais à 95 °C, nous confirme la relation entre le temps de réaction et la température. Une trop grande température ou un temps de réaction trop long provoque le noircissement de la pâte. Lorsque la température augmente, le temps de réaction doit être diminué afin d'obtenir une efficacité optimale de blanchiment au peroxyde. L'analyse du tableau 4.1, nous montre que la température

optimale pour blanchir la pâte désencrée est de 85 °C avec un temps de rétention de 60 minutes.

4.2.11 Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)

La figure 4.15 illustre la valeur de ERIC des pâtes blanchies dans le réacteur Quantum à 95 °C en fonction du temps de réaction. La valeur de ERIC de la pâte non-blanchie est de 306 ppm. Comme nous avons discuté dans la section 4.2.2.2, cette augmentation de la quantité d'encre est due au vieillissement de l'encre et au fractionnement des particules d'encre en plus petites particules.

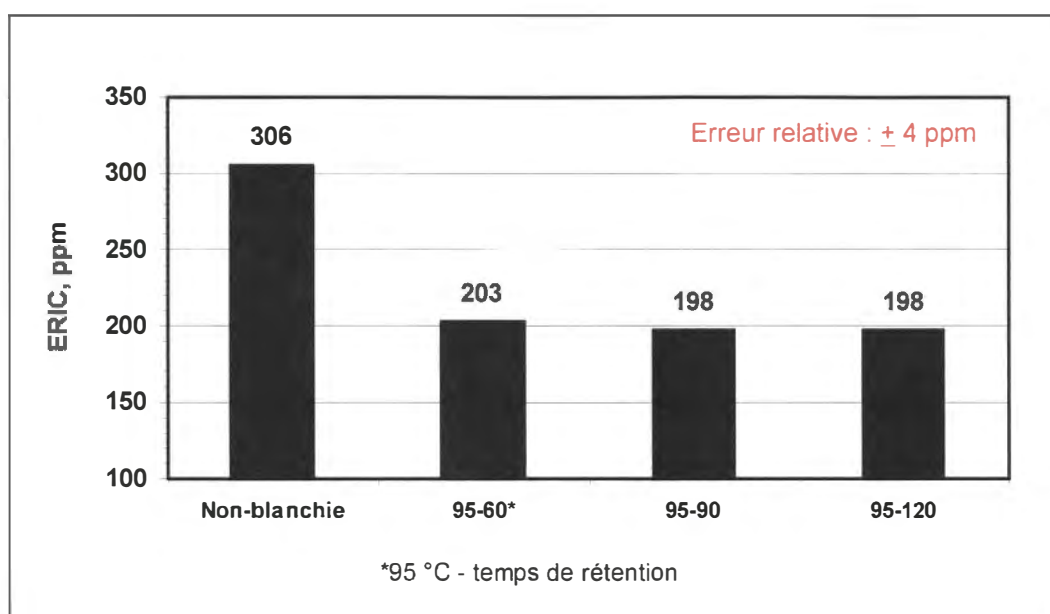


Figure 4.15 ERIC des pâtes blanchies à 95 °C dans le réacteur Quantum en fonction du temps de réaction

Les valeurs de ERIC obtenues après le blanchiment sont d'environ 200 ppm. Les résultats montrent que la variation du temps et l'augmentation de la température de réaction n'ont aucun impact positive sur la concentration d'encre résiduelle dans le pâte. La diminution de la valeur de ERIC après blanchiment est due aux produits chimiques ajoutés lors du blanchiment et au lavage lors de la formation de la feuille comme nous avons discuté dans la section 4.2.2.2.

4.2.12 Consommation du peroxyde résiduelle

L'analyse des consommations du peroxyde présentée dans la figure 4.16 nous démontre qu'à 95°C, non seulement que l'action de blanchiment est accélérée mais également la décomposition de peroxyde comparativement à une température de 85 °C. Ce résultat confirme du fait que la vitesse de décomposition du peroxyde pour former les anions perhydroxyles augmente avec la température et le temps de rétention est un paramètre relié à la température de réaction.

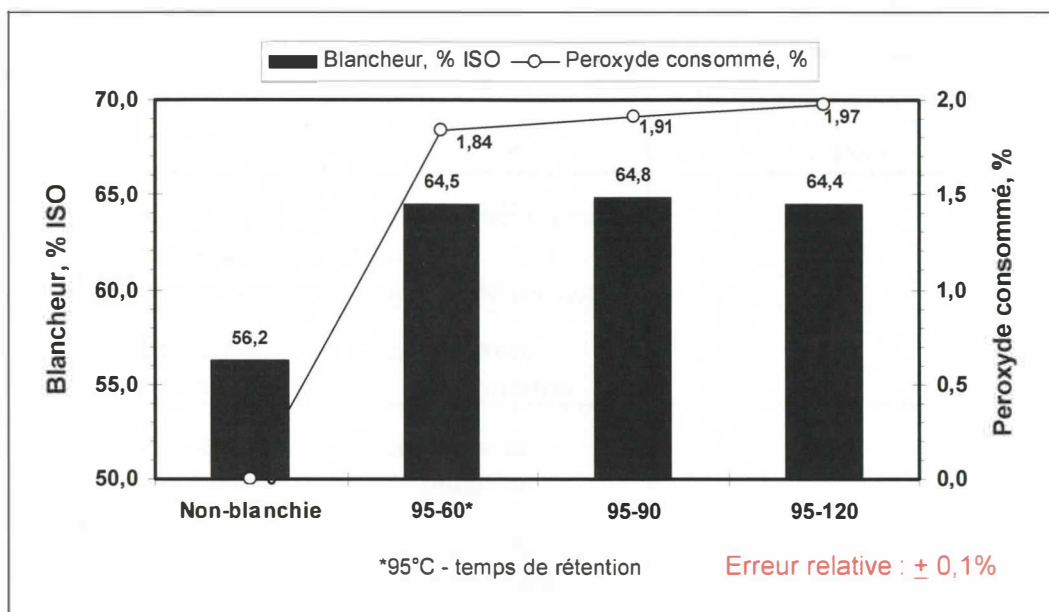


Figure 4.16 Efficacité du blanchiment en fonction de la blancheur et de la consommation en peroxyde

Les analyses des résultats depuis la première partie, nous montrent qu'après le blanchiment, la consommation du peroxyde doit être limitée à 70% de sa quantité initiale. Si la consommation de peroxyde d'hydrogène excède 90%, il y a un risque de réversion de blancheur, particulièrement à températures élevées.

4.3 Partie III : Hyper lavage

Le tableau 4.2 présente le niveau de blancheur maximum obtenue pour chacune des parties de nos travaux. L'analyse des résultats, nous montre que la blancheur obtenue pour chaque partie est encore loin de celle que nous souhaitions (70-72 % ISO) et de plus elle est plus faible qu'une pâte thermomécanique (3% peroxyde : 73,2 % ISO : 70 °C) [75]. Cependant, nos résultats obtenus sont comparables aux résultats de Lapierre et al. (64,6 % ISO : 3 % peroxyde : 80 °C) [71].

Tableau 4.2 Comparaison de la blancheur maximale entre 4 procédés

Partie	Blancheur maximale, % ISO
I : Blanchiment à l'aide d'un mélangeur Hobart avec la variation des concentrations en hydroxyde de sodium	66,2
II : Blanchiment au Quantum avec changement du nombre de la rotation	64,4
II : Blanchiment au Quantum avec changement du temps de rétention	62,5
II : Blanchiment au Quantum avec changement de la température et du temps de rétention	64,5

Suites aux résultats obtenus, nous avons émis deux hypothèses pour tenter d'expliquer la faible efficacité de blanchiment au peroxyde à haute température. La première hypothèse est un niveau d'encre résiduelle trop élevée (200 ppm). Cette quantité trop élevée d'encre résiduelle masque la blancheur de la pâte blanchie. La deuxième hypothèse est que le prétraitement de la pâte au DTPA n'est pas efficace pour éliminer totalement les ions métalliques.

Le procédé d'hyper lavage est utilisé dans cette partie afin de diminuer la concentration d'encre résiduelle et de vérifier l'efficacité du blanchiment au peroxyde de la pâte désencrée.

4.3.1 Hyper lavage des pâtes blanchies en fonction de la variation de la température de réaction

Dans cette partie, la pâte désencrée est blanchie avec trois températures différentes (75, 85 et 95°C) pendant un temps de réaction de 60 minutes. Les paramètres nous permettant de caractériser nos pâtes blanchies sont la blancheur ISO, la coordonnée de couleur b^* et l'encre résiduelle ERIC.

4.3.2 Blancheur et luminosité (Coordonnée de couleur L^*)

La figure 4.17 montre que l'hyper lavage de la pâte désencrée n'améliore pas la blancheur initiale, nous attribuons ce résultat à la diminution de la diffusion de la lumière provenant des fines.

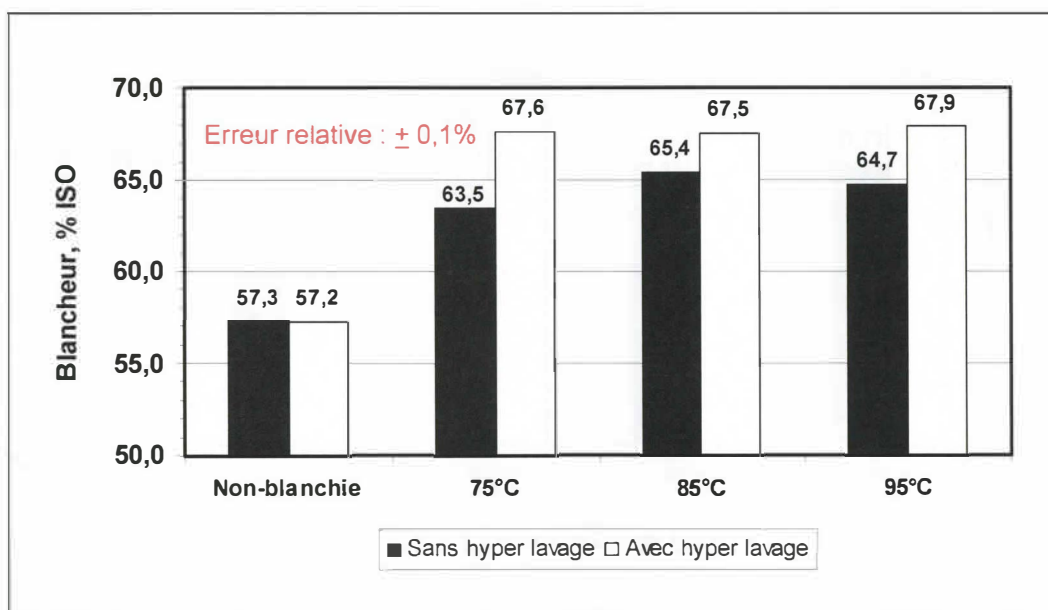


Figure 4.17 Impact de l'hyper lavage de la pâte blanchie sur la blancheur

Le niveau de blancheur obtenu pour 75 °C est de 63,5 %ISO, pour 85 °C il est de 65,4 %ISO et pour 95 °C il est de 64,7 %ISO. Le gain de blancheur maximal de 8,1 points est obtenu de l'essai de blanchiment à 85 °C. Les gains de blancheur des blanchiments à 75 °C et à 95 °C sont respectivement de 6,2 et 7,4 points.

Nous remarquons une augmentation de la blancheur après une étape de l'hyper lavage pour les trois essais. L'hyper lavage des pâte blanchies à 75 °C, 85 °C et 95 °C permet d'obtenir de meilleurs niveaux de blancheur de 67,6 %ISO, 67,5 %ISO, 67,9 %ISO respectivement. Ces résultats nous confirment que l'encre résiduelle est la cause principale qui empêche l'efficacité du blanchiment au peroxyde pour ce type de pâte.

Nous observons que les blancheurs des pâtes blanchies hyper lavées sont semblables et atteignent un plateau d'environ 68 %ISO. Ce plateau est attribuable à l'existence des encres liées et d'autres contaminants de la pâte. Ces encres sont encore restées sur et/ou à l'intérieur du lumen des fibres, et/ou redéposées de façon irréversible sur les fibres longues. Une autre possibilité est due à une augmentation de la luminosité (coordonnée de couleur L*) de la pâte blanchie hyper lavée (figure 4.18). L'hyper lavage permet d'atténuer la teinte grise de la pâte blanchie.

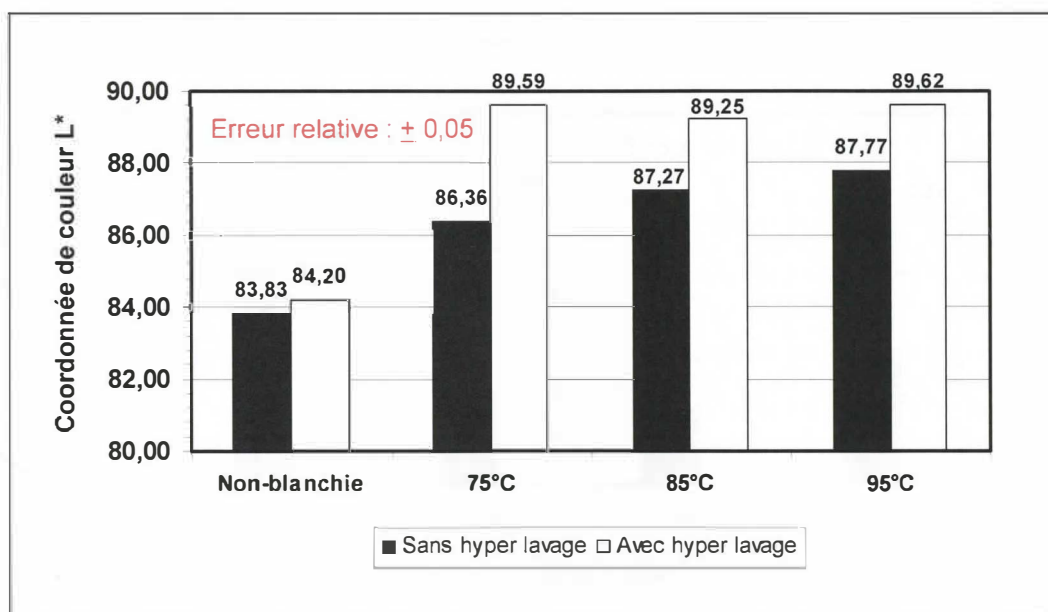


Figure 4.18 Impact d'hyper lavage de la pâte blanchie sur la luminosité

Dans l'étude de Phan [72], la pâte a subi une étape d'hyper lavage avant le procédé du blanchiment, pour une concentration de 3% de peroxyde équivalent, la blancheur obtenue était de 69,6 % ISO. Ce niveau de blancheur est due à la réduction du taux de

métaux de transition lors de l'hyper lavage ce qui permet d'augmenter l'efficacité du blanchiment au peroxyde.

4.3.3 Coordonnée de couleur b^*

Nous observons, dans la figure 4.19, une augmentation de valeurs de b^* de la pâte désencrée après une étape de l'hyper lavage. Cet accroissement est lié à l'enlèvement de la teinte grise présente dans la pâte désencrée et à l'élimination des charges minérales. La teinte grise et les charges minérales présentes dans la pâte désencrée permettent d'obtenir de plus faibles valeur de b^* . La diminution de l'encre et l'enlèvement de la teinte grise ainsi que les charges minérales par l'hyper lavage, nous permet d'obtenir une teinte plus claire et de faire ressortir la teinte jaune qui mène à une augmentation de la valeur de b^* .

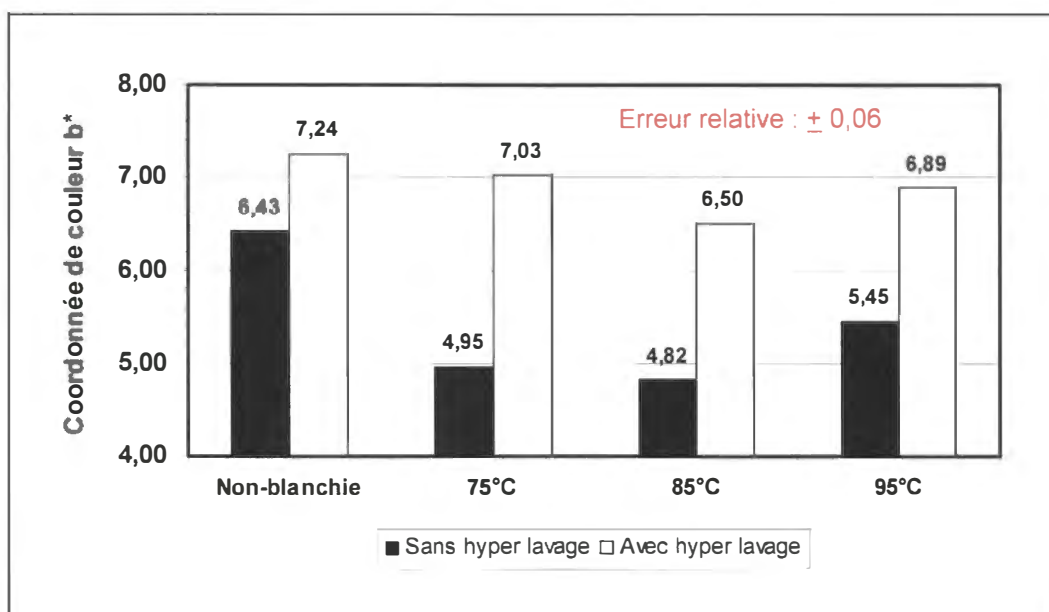


Figure 4.19 Impact de l'hyper lavage de la pâte blanchie sur la coordonnée de couleur b^*

La coordonnée de couleur b^* est inversement proportionnelle à la concentration en encre résiduelle [54]. Elle est également liée à la blancheur, plus la pâte est blanche, plus la valeur de b^* diminue.

4.3.4 Impact de l'hyper lavage sur ERIC

La figure 4.20 montre les résultats de ERIC avant et après l'étape de l'hyper lavage. Il est évident que l'hyper lavage permet de diminuer significativement la concentration effective en encre résiduelle. Nous avons observé des diminutions des valeurs de ERIC de 90 ppm à 95 ppm. Ces résultats nous montrent que l'hyper lavage est très efficace pour éliminer les particules d'encre libre («Free ink») encore redéposées sur la surface des fibres.

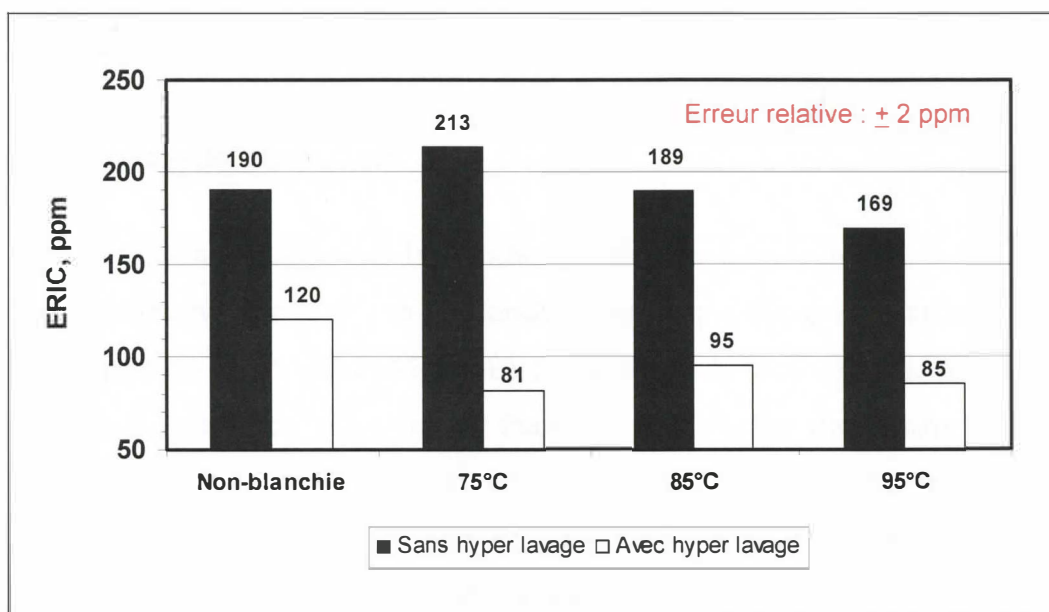


Figure 4.20 Impact d'hyper lavage sur la concentration effective en encre résiduelle

Le changement de la température de réaction n'a aucun impact sur la valeur de ERIC. Cependant, les blanchiments avec le réacteur Quantum nous permet de diminuer très légèrement la concentration d'encre résiduelle. Cette diminution peut être également attribuable aux produits chimiques utilisés dans la liqueur de blanchiment.

4.3.5 Hyper lavage des pâtes blanchies et non-blanchies

L'objectif de cette partie est d'évaluer l'effet de la température et de la liqueur du blanchiment sur des pâtes désencrées dans le réacteur Quantum. Suite au blanchiment de nos échantillons, nous avons effectué un hyper lavage.

L'abréviation «SL » présente dans toutes les figures signifie que le traitement de la pâte dans le réacteur quantum a été effectué *sans liqueur de blanchiment* tandis que l'abréviation «L» signifie que le traitement de la pâte dans le réacteur quantum a été effectué *avec liqueur de blanchiment*.

4.3.5.1 Niveau de blancheur

La figure 4.21 nous montre que la blancheur initiale de notre pâte est de 59,8 %ISO. Nous avons observé que le niveau de blancheur sans hyper lavage est similaire quelque soit la température (25 °C-SL et 85 °C-SL), le traitement de la pâte dans le réacteur a été effectué sans liqueur de blanchiment. Pour ces deux températures sans liqueur de blanchiment, l'hyper lavage réduit le niveau de blancheur d'environ 1 point. Nous attribuons cette perte du niveau de blancheur à la formation de chromophores soit par la température plus élevée ou la rotation du rotor avec cette température.

Le blanchiment à la température de la pièce (25 °C) sans hyper lavage n'est pas efficace pour augmenter la blancheur. Ce résultat nous confirme que la blancheur augmente avec l'accroissement de la température de la réaction ou avec une concentration plus élevée d'anion perhydroxyle (HOO^-).

À 25 °C et en présence de la liqueur, le niveau de blancheur de la pâte désencrée n'augmente pas, par contre, en effectuant un hyper lavage nous pouvons observé un gain de blancheur de plus de 3 points. Ce gain est attribuable à l'élimination d'encre résiduelle ou de matières extractibles.

La blancheur obtenue de l'essai du blanchiment à 85 °C confirme l'efficacité du blanchiment à haute température. La blancheur de 65,8 % ISO est obtenue après le blanchiment tandis que le gain de 3,6 points est obtenu après l'hyper lavage.

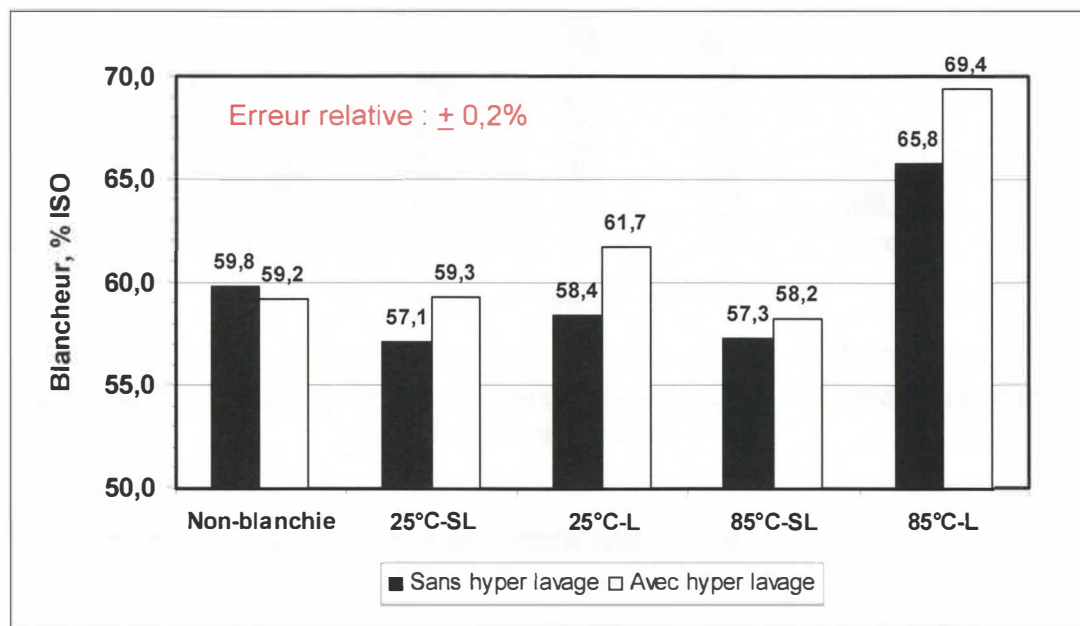


Figure 4.21 Impact de la température et de la liqueur de blanchiment sur la blancheur

Les niveaux de blancheur obtenus après l'hyper lavage sont comparables à ceux obtenus dans l'étude de Phan [72].

4.3.5.2 Coordonnée de couleur b^* après l'hyper lavage

La figure 4.22 montre une augmentation de valeurs de b^* de la pâte désencrée après une étape de l'hyper lavage. Cet accroissement est lié à l'enlèvement de la teinte grise (petite particule d'encre) présent dans la pâte désencrée et à l'élimination des charges minérales comme nous avons discuté dans la section 4.3.1.2.

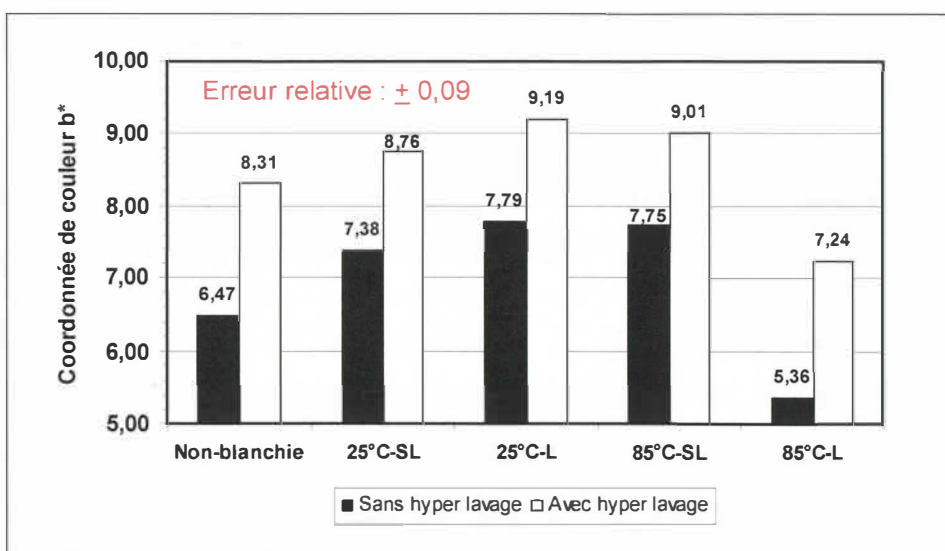


Figure 4.22 Impact de la température et de la liqueur de blanchiment sur la coordonnée de couleur b^*

4.3.6 Concentration effective en encre résiduelle

La figure 4.23 nous montre que la température et la liqueur de blanchiment n'ont aucun impact positif sur la valeur de ERIC.

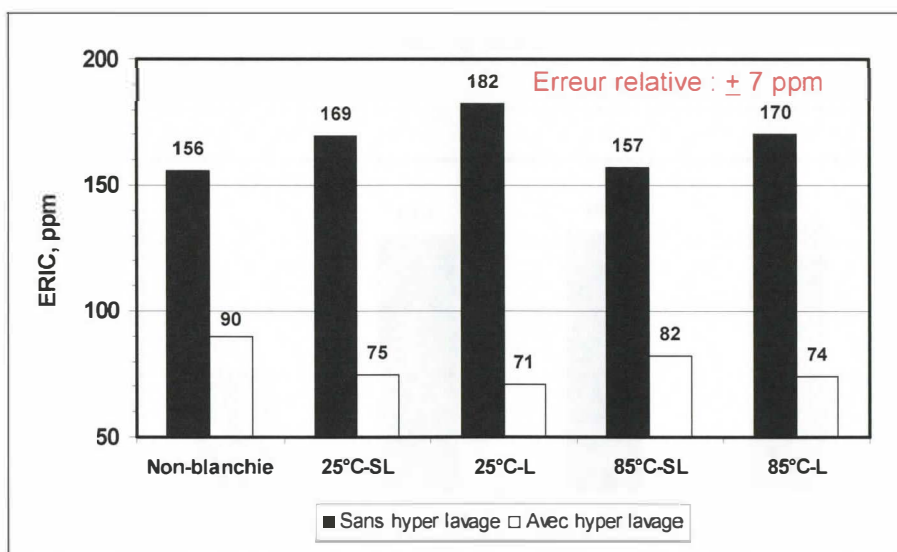


Figure 4.23 Impact de la température et de la liqueur de blanchiment sur ERIC

Nous avons observé des diminutions des valeurs de ERIC de 170 ppm à 74 ppm pour l'essai effectué à 85 °C avec la liqueur de blanchiment. Ce résultat nous montre que

l'hyper lavage est très efficace pour éliminer les particules d'encre libre à la surface des fibres.

4.4 Partie IV : Efficacité du blanchiment avec une addition d'acide oléique dans la liqueur de blanchiment

L'acide oléique est ajouté dans la liqueur de blanchiment pour créer un effet d'entraînement plus grand des particules d'encre. L'addition de l'acide nous permet d'augmenter la force ionique qui se traduit par une diminution de la répulsion des petites particules d'encre et le savon d'acide gras (oléique) chargé négativement, lequel phénomène de neutralisation des charges provoque une augmentation de la taille des agrégats. Nous espérons ainsi permettre une élimination supplémentaire par flottation de l'encre résiduelle. Les concentrations de l'acide oléique de 0,5% et 1,0 % ont été ajoutées dans la liqueur de blanchiment. Le blanchiment a été effectué dans le réacteur Quantum à une température de 85 °C durant 60 minutes.

4.4.1 Blancheur

La figure 4.24 nous montre que l'addition de l'acide oléique dans la liqueur de blanchiment a très peu d'impact positif sur la blancheur.

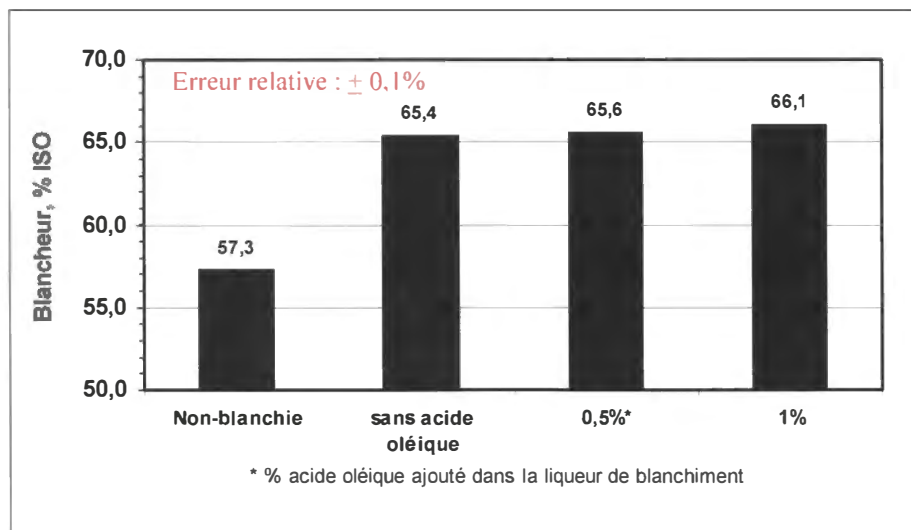


Figure 4.24 Impact de l'acide oléique dans la liqueur sur la blancheur

La blancheur initiale est de 57,3 % ISO. Les blancheurs des pâtes blanchies au réacteur Quantum sans acide oléique, avec 0,5% et 1 % d'acide oléique sont respectivement de 65,4 : 65,6 : 66,1 % ISO.

Nous observons que la blancheur augmente légèrement avec une augmentation de la concentration d'acide oléique. Cette augmentation est probablement due à un enlèvement des particules de contaminants par l'effet du savon d'acide gras.

4.4.2 Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)

Nous observons sur la figure 4.25 que l'ajout d'acide oléique dans la liqueur de blanchiment n'a aucun impact sur la valeur de ERIC. Globalement l'ajout d'acide oléique n'est pas efficace dans le système étudié.

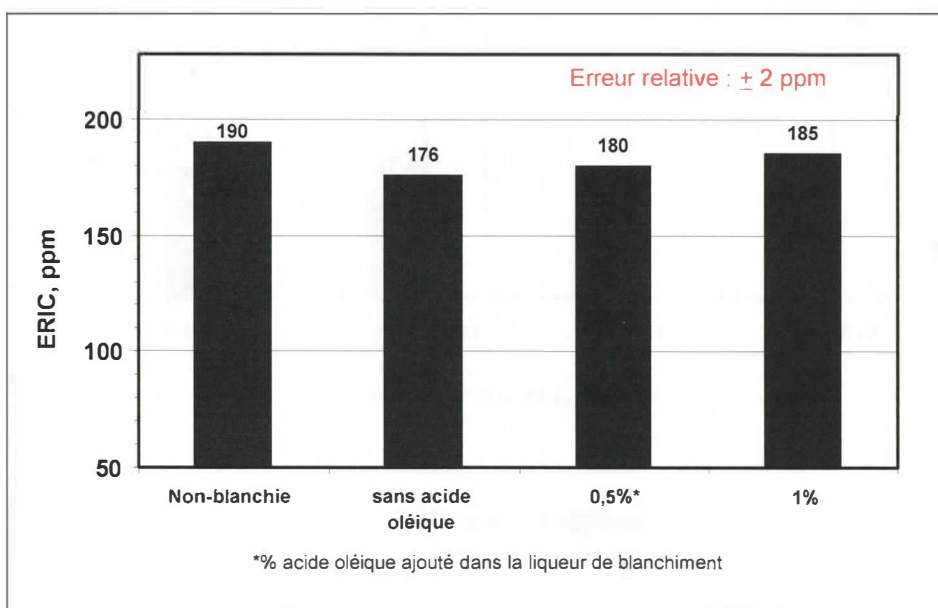


Figure 4.25 Impact de l'acide oléique ajouté dans la liqueur sur ERIC

4.5 Partie V : Efficacité du blanchiment des fibres fractionnées

Dans cette dernière partie de notre étude, le fractionnement de la pâte avec un classificateur «Bauer McNett» est utilisé afin de séparer les fibres en 5 fractions selon la longueur des fibres. L'objectif du blanchiment des fibres fractionnées est pour mieux

comprendre la réponse au blanchiment au peroxyde de chaque fraction. Cette étape nous permet de déterminer dans quelle fraction se retrouve les particules d'encre, responsable de l'efficacité réduite du blanchiment de la pâte désencrée. Nous avons évalué l'effet de blanchiment de la fibre fractionnée en terme de niveau de blancheur ISO, de coordonnée de couleur b^* et de ERIC.

4.5.1 Blancheur ISO

La figure 4.26 nous montre que le fractionnement de la pâte désencrée avant l'étape de blanchiment réduit la blancheur de la pâte.

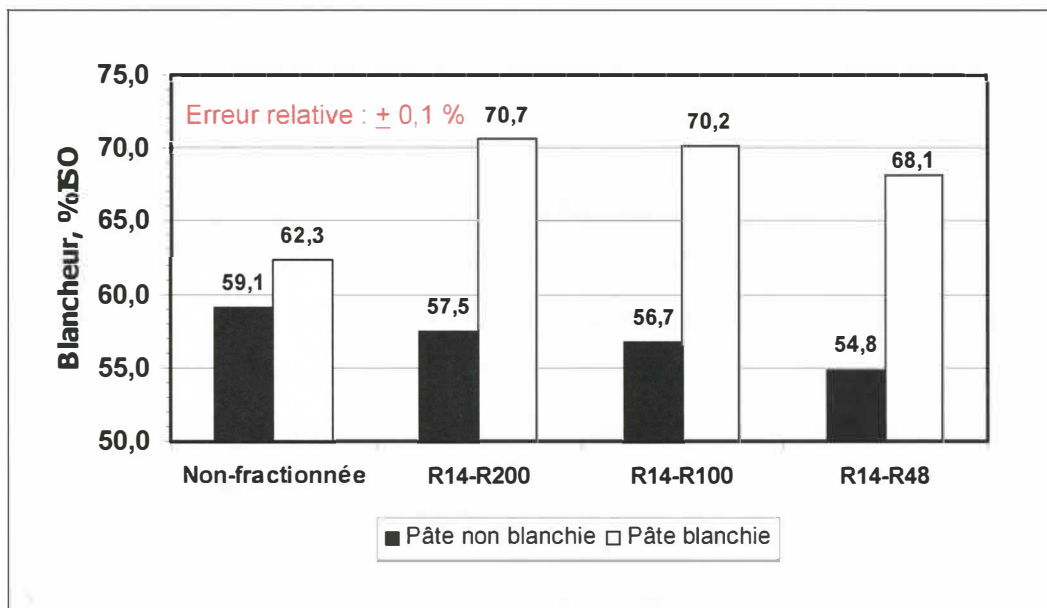


Figure 4.26 Blancheur de la pâte originale et de ses fractions

En comparant la blancheur (tableau 4.3) des pâtes non-blanchies, nous pouvons remarquer que la blancheur de la pâte non-fractionnée est supérieure à celle des pâtes fractionnées. Nous constatons également que la différence de blancheur entre la pâte non-fractionnée et les pâtes fractionnées est plus importante dans les fractions contenant des fibres longues. Ceci est probablement dû à la diminution de la diffusion de la lumière à cause de l'absence des fines. Il est également possible que la perte plus

importante des charges minérales lors du fractionnement des fibres affecte ce décroissement de la blancheur.

Tableau 4.3 Blancheur ISO de la pâte non-fractionnée et ses fractions

Traitement	Non-fractionnée %ISO	R14-R200 %ISO	R14-R100 %ISO	R14-R48 %ISO
Non-blanchie	59,1	57,5	56,7	54,8
Blanchie	62,3 (3,2)	70,7 (13,2)	70,2 (13,5)	68,1 (13,3)
(le gain de blancheur dans la parenthèse %)				

Le blanchiment de la pâte fractionnée permet d'augmenter significativement la blancheur. Dans la section 4.3.1.1, la blancheur obtenue après l'étape d'hyper lavage de la pâte blanchie à 85°C est de 67,5 % tandis qu'à des conditions de blanchiment équivalentes, le blanchiment de la pâte fractionnée permet d'obtenir la blancheur plus élevée (d'environ 70 % ISO). La blancheur obtenue dans cette partie est comparable à celle obtenue dans l'étude de Phan (69,9 % ISO : 3 % H₂O₂). Cette meilleure blancheur est due au fait que l'hyper lavage et le fractionnement permettent dans un premier temps de diminuer significativement les métaux de transition, surtout le taux de fer. La réduction du taux de fer permet d'augmenter l'efficacité du blanchiment au peroxyde d'hydrogène. Dans un deuxième temps, le fractionnement et l'hyper lavage permettent de réduire la concentration effective en encre résiduelle.

Le fractionnement de la pâte permet d'obtenir un gain de blancheur d'environ 13,3 points. Le blanchiment des fractions R14-R48 possède la plus faible blancheur par rapport aux fractions R14-R200 et R14-R100. L'analyse des résultats confirme l'effet positif des fines sur la diffusion de la lumière.

Le tableau 4.4 confirme clairement que le blanchiment à haute température et à haute consistance permet dans un premier temps de réduire significativement la concentration d'hydroxyde de sodium (64%), ce résultat a un impact considérable sur la réduction de la

charge d'effluent ; et dans un deuxième temps d'augmenter le niveau de blancheur de 5,1 points comparativement aux résultats dans l'étude de Lapierre [71]. La meilleure efficacité du blanchiment à haute consistance est due à la plus grande proportion de réactifs se retrouvant à proximité des sites de blanchiment.

Tableau 4.4 Comparaisons des procédés de blanchiment à basse et à haute consistance

Conditions	Nos résultats	Résultats de Lapierre et al. [71]
Température, °C	85	80
Temps de rétention, min.	60	90
Consistance, %	26	8
Concentration en NaOH, %	0,9	2,5
Blancheur maximale des fractions longues, % ISO	68,1	62,0
Gain de blancheurs, points	13,3	8,2

4.5.2 Coordonnée de couleur b*

Nous pouvons constater à la figure 4.27 que dans le cas de la pâte non-blanchie et de la pâte blanchie au peroxyde, les fractions longues (R14-R48) possèdent les plus hautes valeurs de b*. Les résultats obtenus nous montrent que blanchiment au peroxyde permet d'atténuer la teinte jaune. Comme nous avons discuté dans la section 4.3.1.2, l'augmentation de la valeur b* (teinte jaune) des pâtes non-blanchies est due à l'enlèvement de la teinte grise (petites particules d'encre) de la pâte désencrée par le fractionnement de la pâte.

Nous remarquons, dans la figure 4.27, que les fractions possédant plus de fines (R14-R200 et R14-R100) permettent d'obtenir de plus faibles valeurs de b*.

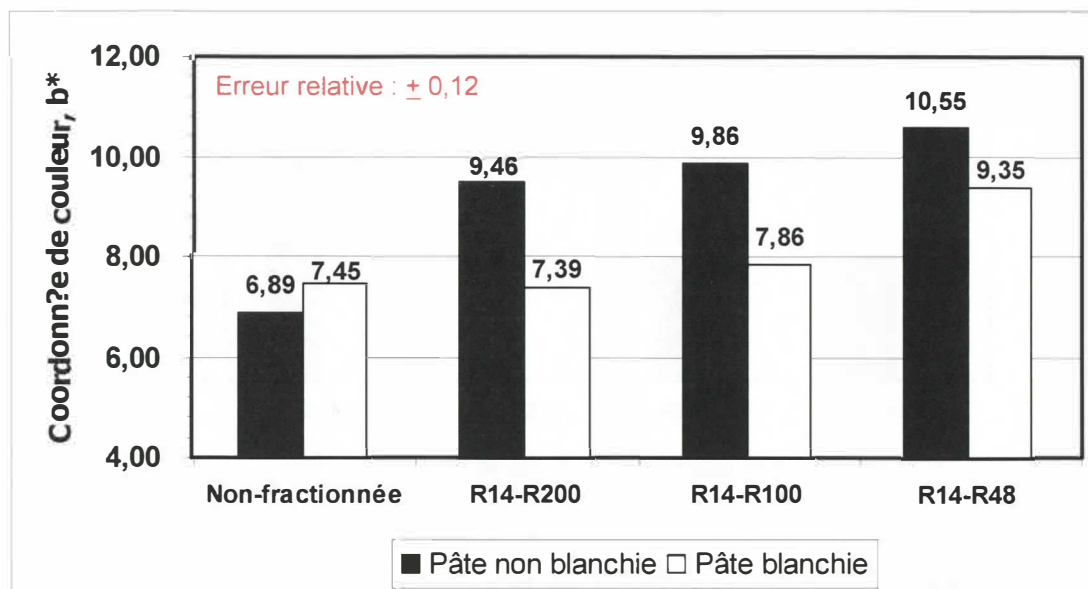


Figure 4.27 Coordonnée de couleur b* de la pâte originale et de ses fractions

4.5.3 Concentration effective en encre résiduelle (ERIC)

Nous constatons, dans la figure 4.28, que le fractionnement de la pâte par le classificateur Bauer McNett permet de diminuer significativement la concentration effective en encre résiduelle, des diminution des valeurs de ERIC de 158 ppm à 65 ppm sont observées. Les particules d'encre qui sont enlevées lors du fractionnement de la pâte sont les particules d'encre libre («Free ink») tandis que les particules d'encre restantes encore dans et/ou sur les fibres sont les particules d'encre liée qui est impossible à détacher et éliminer de la fibre.

Le blanchiment de la pâte fractionnée semble avoir un léger effet positif sur la valeur de ERIC, notamment, grâce aux produits chimiques ajoutés dans la liqueur de blanchiment (NaOH, Na₂SiO₃, H₂O₂).

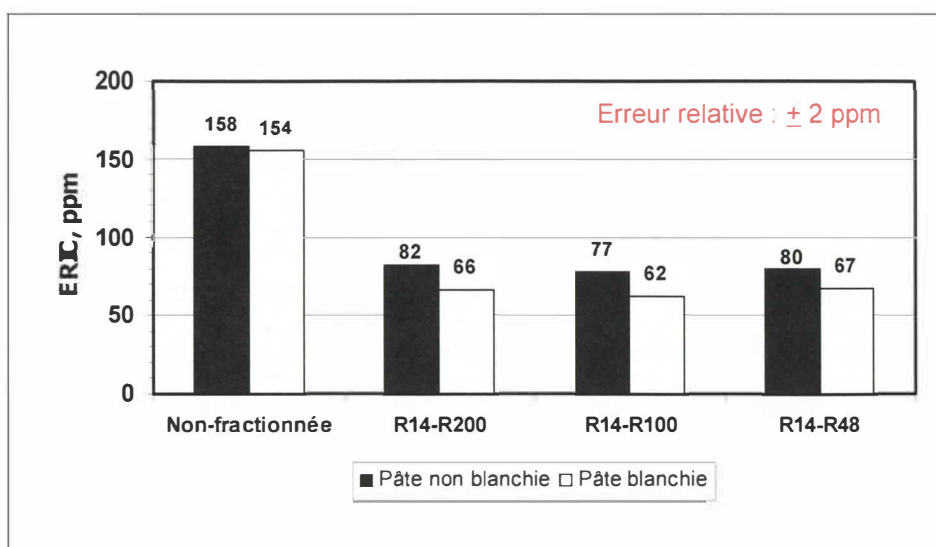


Figure 4.28 Concentration effective en encre résiduelle de la pâte originale et de ses fractions

4.5.4 Consommation du peroxyde d'hydrogène

La figure 4.29 représente la consommation du peroxyde de la pâte originale et de ses fractions. Pour les conditions de blanchiment équivalentes, la pâte non-fractionnée consomme tout le peroxyde comparativement à la consommation du peroxyde de 1,97% dans la partie 1.

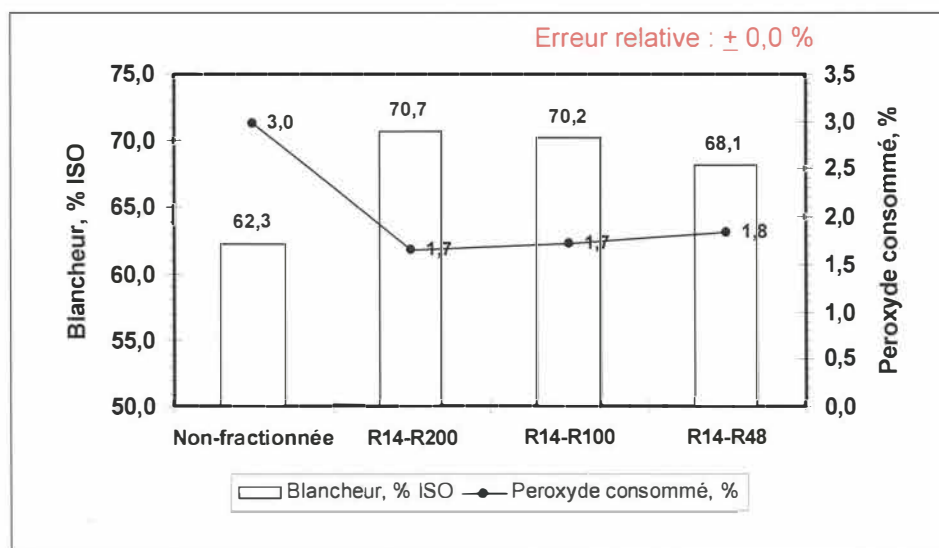


Figure 4.29 Efficacité du blanchiment de la pâte originale et de ses fractions

Généralement, lorsque le traitement de la pâte au peroxyde d'hydrogène est terminé, il faut qu'il y ait une certaine proportion de peroxyde résiduel pour assurer le maximum de blancheur. Dans cette partie, la consommation totale du peroxyde est possiblement due à la présence de champignons.

L'analyse des résultats, nous montre qu'à une consommation du peroxyde équivalente, le fractionnement de la pâte permet d'obtenir des niveaux de blancheur plus élevés. Ces résultats montrent que le fractionnement de la pâte est avantageux au niveau de la consommation des produits chimiques.

Chapitre 5 - Conclusions

Les analyses de métaux de la partie 1 de cette étude montrent que les concentrations du manganèse «27 mg/kg avant traitement et 7 mg/kg après traitement) et du cuivre (14 mg/kg avant traitement et 9 mg/kg après traitement) sont sous forme de trace et la chélation au DTPA de la pâte désencrée n'est pas efficace pour éliminer le fer (308 mg/kg avant traitement et 284 mg/kg après traitement) qui est fortement lié aux fines.

Dans le cas des blanchiments de pâte non-traitée et prétraitée au DTPA, le gain de blancheur maximal est d'environ 6 points à 0,9% de concentration en NaOH. Nous remarquons que la chélation au DTPA n'augmente pas significativement la blancheur.

Les métaux de transition qui sont partiellement éliminés lors de la chélation au DTPA contribue aux plus faibles valeurs de b^* (teinte jaune) par rapport aux pâtes non-traitées. Le blanchiment au peroxyde et l'augmentation de la concentration en NaOH ont peu d'impact sur les valeurs de ERIC. Le prétraitement au DTPA éliminant partiellement les ions métalliques inhibe la réaction de décomposition de peroxyde et permet la réduction de la consommation du peroxyde dans la réaction de blanchiment. L'utilisation de haute température et de haute consistance dans le blanchiment au peroxyde permet de diminuer significativement la concentration en NaOH (62%). Ce résultat a un impact considérable sur la réduction de la charge d'effluent.

Dans la seconde 2, nous avons utilisé le réacteur Quantum pour simuler un procédé industriel existant «*le disperger*», ce système permet de provoquer un cisaillement sur la pâte qui a pour effet de décrocher l'encre. Les variables que nous avons évaluées sont : le nombre de révolutions, le temps de réaction et la température de réaction.

Les essais du blanchiment dans le réacteur Quantum avec des variations du nombre de rotation du rotor montrent que l'accroissement du nombre de rotation entraîne une diminution de la blancheur. L'essai qui donne la meilleure blancheur est l'essai de 2

rotations sans rotation automatique durant la réaction. L'analyse des résultats de ERIC, nous permet de trouver que le réacteur Quantum ne semble pas avoir une influence importante sur le décrochage de l'encre.

Les essais du blanchiment avec des variations du temps de réaction montrent que la stabilité du gain de blancheur est atteinte à partir de 90 minutes. Un temps de rétention de 60 minutes, nous semble adéquat. Les niveaux de blancheur sont pour 15 minutes 61,4 %ISO, pour 30 minutes 62,0 %ISO, pour 90 minutes 62,5 %ISO et pour 120 minutes 62,3 %ISO. La variation du temps de rétention n'affecte pas la concentration d'encre résiduelle (ERIC).

Les essais du blanchiment au Quantum pour des températures de 85 °C et 95 °C montrent que le niveau de blancheur a atteint un palier après 60 minutes, la blancheur obtenue est de 64,5 %ISO pour une blancheur initiale de 56,2 %ISO. Le plafonnement de la blancheur observé dans ces essais à 95 °C, nous confirme la relation entre le temps de rétention et la température de réaction. Les valeurs de ERIC obtenues après le blanchiment sont d'environ 200 ppm. Les résultats montrent que la variation du temps et l'augmentation de la température de réaction n'ont aucun impact positif sur la valeur de ERIC. L'analyse des consommations du peroxyde illustre qu'à 95°C, non seulement l'action de blanchiment est accélérée mais que la décomposition de peroxyde est aussi accélérée de façon plus importante par rapport aux blanchiments à 85 °C. Ce résultat confirme du fait que la vitesse de décomposition du peroxyde pour former les anions perhydroxyles augmente avec la température et le temps de rétention est un paramètre relié à la température de réaction.

Dans tous les essais du blanchiment au réacteur Quantum, nous observons une légère perte de particules d'encre après le blanchiment. Cette perte est due aux produits chimiques ajoutés dans la liqueur de blanchiment (NaOH , Na_2SiO_3 , H_2O_2).

Suite à nos résultats obtenus dans les deux premières parties, nous avons émis deux hypothèses afin d'expliquer la faible efficacité de blanchiment au peroxyde à haute

température. La première hypothèse est un niveau d'encre résiduelle trop élevée (200 ppm). La deuxième hypothèse est que le prétraitement de la pâte au DTPA n'est pas efficace pour éliminer totalement les ions métalliques.

Dans la troisième partie de nos travaux, le procédé d'hyper lavage est utilisé afin de diminuer la concentration d'encre résiduelle et d'évaluer son efficacité sur le blanchiment au peroxyde de la pâte désencrée.

Les essais de l'hyper lavage des pâtes blanchies avec une variation de la température de réaction (75, 85 et 95°C) montrent que l'hyper lavage de la pâte désencrée n'améliore pas la blancheur initiale probablement due à la diminution de la diffusion de la lumière provenant des fines. La température qui permet d'obtenir la meilleure blancheur est de 85 °C. L'hyper lavage est très efficace pour éliminer les particules d'encre libre («Free ink») encore redéposées sur la surface des fibres. Nous observons des diminutions des valeurs de ERIC de 190 ppm à 95 ppm.

Les résultats des essais de l'hyper lavage des pâtes non-blanchies et des pâtes blanchies nous montrent que le blanchiment au peroxyde à haute température est plus efficace qu'à basse température. Le réacteur Quantum n'a aucun impact sur le détachement d'encre de la surface des fibres. L'hyper lavage permet de diminuer la valeur de ERIC de 170 ppm à 74 ppm.

Dans la quatrième partie, nous avons ajouté de l'acide oléique dans la liqueur de blanchiment afin de retirer une plus grande quantité de particules d'encre. Les résultats montrent que l'ajout du savon d'acide gras dans la liqueur de blanchiment ne permet pas d'améliorer la blancheur et n'a aucune influence sur la valeur de ERIC.

Dans la cinquième partie, nous avons procédé à un fractionnement de la pâte désencrée afin d'évaluer la réponse au blanchiment avec le peroxyde de chaque fraction. Le blanchiment des pâtes fractionnées permet d'obtenir un gain de blancheur de 13,3 points.

Les résultats obtenus dans cette partie montrent clairement que le blanchiment à haute température et à haute consistance permet dans un premier temps de réduire significativement la concentration d'hydroxyde de sodium (64%), ce résultat a un impact considérable sur la réduction de la charge d'effluent ; et dans un deuxième temps d'augmenter plus le niveau de blancheur comparativement aux résultats obtenus lors du blanchiment à basse consistance.

Tous ces résultats semblent indiquer que l'efficacité de blanchiment au peroxyde augmente avec une diminution de la concentration effective en encre résiduelle.

Pour les travaux futurs de ce projet, nous proposons :

- Le blanchiment des fibres selon la fraction longue et la fraction fine
- L'utilisation de consistance plus élevée que 26 %

Bibliographie

1. Site Web NF & PA (2000).
2. Conseil de l'industrie forestière du Québec, www.cifq.qc.ca.
3. Association des produits forestiers du Canada,
www.fpac.ca/fr/sustainability/environmental_stewardship_recycling.php.
4. Association des produits forestiers du Canada,
www.fpac.ca/fr/forets_et_durability/environmental_stewardship_recycling.php
5. Lévesque, M., «Le recyclage et le désencrage des papiers et des cartons», chapitre 2, Cégep de Trois-Rivières, Département des techniques papetière, p.13-24 (1999).
6. Association des produits forestiers du Canada,
www.fpac.ca/fr/qui_nous_sommes/pdfs/publication
7. Conseil des produits des pâtes et papiers, www.pppc.org/en/1_0/1_1f.html
8. Anonyme, «ONP used to make strong, new packaging interiors», Recycled Paper News, 4 (9); 12 (1994).
9. Dessureault, S., Barbe, M., Tremblay, S., Thom, A., «Comparaison of deinking Processes for High Quality Newsprint Production», Recycling Symposium, p. 291-303 (1995).
10. Lafrenière, S., Dessureault, S., Dubreuil, M., Devic, M., «Bleaching processes for ONP/OMG, MOW, SWL and UB/OMG deinked pulps», 80th Annual Meeting, Technical Section, CPPA, Book A, p. 41-57 (1994).
11. Galland, G., Vernac, Y., Dubreuil, M., Bourson, L., «Progress in bleaching recovered paper pulps», Progress in Paper Recycling (11), p.20-30 (1992).
12. Galland, G., Bernard, E., Sauret, G., «Désencrage, intérêt des traitements haute concentration», ATIP 37 (9); 559-566 (1983).
13. Bovin, A., «Improved flotation deinking by development of the air mixing chamber», Proc. TAPPI Pulping Conference, p.37-42 (1984).
14. Lafrenière, S., Dessureault, S., Dubreuil, M., Barbe, M. «Bleaching newsprint and magazine waste», Kvaerner Hymac Symposium, octobre, Delta Hôtel, Trois-Rivières (1992).

15. Heimburger, S.A., «Repulping/deinking and bleaching secondary fiber with hydrogen peroxide», TAPPI Pulping Conf., 3, novembre, p. 505-515 (1987).
16. Lévesque, M., «Le recyclage et le désencrage des papiers et des cartons», chapitre 14, Cégep de Trois-Rivières, Département des techniques papetières, p. 265-296 (1999).
17. Linck, E., Matzke, W., Siewart, W., «Le circuit de désencrage des vieux papiers», EUCEPA Symposium, Ljubljana, 2, octobre, p. 361-378 (1989).
18. Putz, H.-J., Götsching, L., «Waste paper utilization in the Federal Republic of Germany with special reference to deinking and bleaching», Paper Southern Africa, janvier, p.10-31 (1985).
19. Marlin, N., Magnin, L., Chirat, C., Lachenal, D., «Effet de l'introduction d'oxygène dans le blanchiment au peroxyde d'hydrogène des pâtes de fibres recyclées : Partie I – Cas d'une pâte chimique blanchie contaminée par des fibres brune kraft ou par de la pâte mécanique», ATIP 55 (1-3); p. 7-12 (2001).
20. Hamilton, F., Leopold, B., Kocurek, M.J., «Secondary fibers and non-wood pulping», TAPPI , Pulp and Paper Manufacture, 3, chapitre 20, p. 234-237 (1987).
21. Matzke, W.H., Selder, H.H., «Various approaches for understanding and improving secondary fiber brightness», TAPPI Pulping Conference, 1, octobre-novembre, p. 203-211 (1988).
22. Dodson, M., Dean, L., «Proper deinking chemistry, bleaching technique crucial to pulp brightness», Pulp and Paper, 64 (9); 190-193 (1990).
23. Joachimides, T., Hache, M., «Bleaching deinking pulps», TAPPI Pulping Conference, p. 507-515 (1990).
24. Pelletier, C., «Blanchiment au peroxyde de la pâte désencrée dans un tritrateur à haute consistance», Thèse de maîtrise en sciences des pâtes et papiers, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Canada, p. 24-25 (1992).
25. Heimburger, S., A., Meng, T., «Bleaching of deinked stock grades», TAPPI International Mechanical Pulping Conference, p. 329-340 (1991).

26. Patt, R., Gehr, V., Matzke, W., Kordsachia, O., «New approaches in bleaching of recycled fibers», TAPPI journal, 79 (12); 143-151 (1996).
27. Helming, O., Süss, H.U. Eul, W., «Upgrading of waste paper with hydrogen peroxide», TAPPI Pulping Conference, 2, p. 407-417 (1986).
28. Lachenal, D., «Bleaching of secondary fibers-Basic principles», Paper Recycling Challenge, 2, p. 205-211 (1997).
29. Galland, G., Bernard, E., Sauret, G., «Contribution à l'amélioration du désencrage. Intérêt des traitements haute concentration», EUCEPA, Praha, p.167-177 (1983).
30. Papageorges, G., DeCeuster, J., «The use of hydrogen peroxide in waste paper recycling», Chemical Age of India, 27, mai, p. 451-464 (1976).
31. Carmichael, D.L., «The use of hydrogen peroxide in the deinking of newsprint», Pulp and Paper Canada, 91 (10); T365-T368 (1990).
32. Gagné, C., Barbe, M.C., Rémillard, B., Lapointe, M., «Properties of mechanical and chemi-mechanical Jack pine pulps. Part IV: Bleaching studies», Pulp and Paper Canada, 91 (6); T221-T230 (1990).
33. Garceau, J.J., et al. «Pâtes mécaniques et chimicomécaniques», chapitre 7, 1^{ère} édition, ATPPC, Montréal, Canada, p. 210 (1989).
34. Guemmour, D., Oxandaboure, É., «Blanchiment des pâtes désencrées», <http://cerig.efpg.inpg.fr/memoire/2005/blanchiment-pate-desencree.htm>
35. Floccia, L., «Fractionnation and separate bleaching of waste paper – A first», International Pulp Bleaching Conference, New Orleans, L.A., U.S.A., p. 181-190 (1988).
36. Dence, C.W., Reeve, D.W., «Pulp bleaching: Principles and Practice», chapitre 10, 1^{ère} édition, TAPPI, Atlanta, U.S.A., p. 413-442 (1996).
37. Venugopal, C.V., «Design for a deinking process for recycle mixed waste paper», <http://www.p2pays.org/ref/09/08623.pdf#search=%22hydrogen%20peroxide%20in%20deinking%20process%22>
38. Dence, C.W., Reeve, D.W., «Pulp bleaching : Principles and Practice», chapitre 4, 1^{ère} édition, TAPPI, Atlanta, U.S.A., p. 163-181 (1996).

39. Sundbolm, J., «Mechanical Pulping», chapitre 11, TAPPI Press, Helsinki, Finland, p. 311-343 (1999).
40. Lachenal, D., «Délignification et blanchiment des pâtes par le peroxyde d'hydrogène», Doc.CTP, no.1247, p.16 (1986).
41. Gupta, V.N., «Carbonyl chromophores in eastern groundwood», Pulp Paper Magazine Canada, 73 (6); 57-61 (1972).
42. Sharpe, P.E., Rangamannar, G., «Stretching the fiber supply with improved bleaching technology», TAPPI Pulping Conference, p. 1163-1173 (1997).
43. Hoekstra, M.P., «Chemical processing aids in papermaking: A practical guide», TAPPI Press, p. 196 (1992).
44. Lachenal, D., «Hydrogen peroxide as a bleaching and delignifying agent», Workshop on Emerging Pulping and Chlorine-free bleaching Technologies, Raleigh, Caroline du Nord (mars 1991).
45. Singh, R.P., «The bleaching of pulps», Monograph 43, TAPPI, New York, p. 211 (1979).
46. Gellerstedt, G., Agemo, R., «The reactions of lignin with alkaline hydrogen peroxide: Part III The oxidation of conjugated carbonyl structures», Acta Chimica Scandinavica, B-34, p. 669-674 (1980).
47. Dence, C.W., Reeve, D.W., «Pulp Bleaching : Principles and Practice», chapitre 1, 1^{ère} édition, TAPPI, Atlanta, U.S.A., p. 3-24 (1996).
48. Singh, R.P., « Bleaching practices for different pulp types», TAPPI, Bleaching of Pulps, p. 297-326 (1979).
49. Vautier, F., Bever, V., «Chemical upgrading of waste paper», The Pira Secondary Fiber Programme, 1(5), p. 1-7 (1989).
50. Lévesque, M., «Le recyclage et le désencrage des papiers et des cartons», chapitre 5, Cégep de Trois-Rivières, Département des techniques papetières, p. 52-54 (1999).
51. Lévesque, M., «Le recyclage et le désencrage des papiers et des cartons», chapitre 10, Cégep de Trois-Rivières, Département des techniques papetières p. 165-202 (1999).

52. Ben, Y., Dorris, G.M., «Irreversible ink redeposition during repulping. Part II: ONG/OMG furnishes», *Journal Pulp and Paper Science*, 26(8); 289-293 (2000).
53. Ben, Y., Dorris, G. M., «Handsheet and pulp preparation procedures for measurement of total and bound ink in ONP/OMG», *Progress in Paper Recycling*, 8 (2); 34-41 (1999).
54. Lapierre, L., Pitre, D., Bouchard; J., «Fines from deinked pulp: Effect of contaminants on their bleachability and on the pulp final brightness», *Pulp and Paper Canada*, 104 (8); 36-39 (2003).
55. Friman, L., Logenius, L., Agnemo, R., Högberg, E.H., «Comparison of metal profiles in thermomechanical pulping processes in which either hydrogen peroxide or dithionite bleaching is used», *Paperi ja Puu-Paper and Timber*, 85 (6); 334-339 (2003).
56. Sundblad, P., Mattila, P., «Hydrogen peroxide decomposition in deinking mills- A new technique to overcome the problem», *Pulp and Paper Can.* 102 (5); 46-48 (2001).
57. Bräuer, P., Kappel, J., «Recent developments in bleaching of deinked pulps», *Paper Technology*, 9, p. 47-51 (1996).
58. Soteland, N., «Modern bleaching of high yield pulps», 1993 International Mechanical Pulping Conference Proceedings, PTF, Oslo, p. 373 (1993).
59. Brogdon, N.-B., Thompson, T.-K., Hale, K., «Enhancing high temperature peroxide bleaching of mixed office waste (MOW) using formulated bleach stabilizers», *Proceedings of the 1998 Pulping Conference. Part 2 (of 3)*, p. 547-557 (1998).
60. Grundstrom, P., Granfeldt, T., «N. American mill experience with high temperature peroxide bleaching of MOW», 1997 Pulping Conference: TAPPI Proceedings, p. 1101-1109 (1997).
61. Granfeldt, T., Grundstrom, P., McMool, M., Lary, E., «High temperature peroxide technology for bleaching and color-stripping of low-quality mixed office wastepaper», *Paper Age* 112 (11); 24-26 (1996).

62. Wackerberg, E., Fletcher, D., Basta, J., Johansson, N., «High temperature peroxide stage optimization on hardwood and softwood sulfite pulps», 1997 Pulping Conference: Book1, San Francisco, octobre, p. 569-576 (1997).
63. Grace, T.M., Malcolm, E.W., «Pulp and Paper Manufacture: Alkaline Pulping», vol.5, 3^{ième} édition, Published by the Joint Textbook committee of the Paper Industry, TAPPI, p. 400 (1983).
64. Casey, J. P., «Pulp and paper: Chemistry and Chemical Technology», 3^{ième} édition, vol. IV, Wiley-Interscience, John Wiley & Son Inc., New York, U.S.A., p. 2225-2229 (1980).
65. Bristow, A.J., «What is ISO brightness?», TAPPI Journal, 77 (5); 174-178 (1994).
66. Jordan, B.D., Popson, S.J., «Measuring the concentration of residual ink in recycled newsprint», Journal of Pulp and Paper Science, 20 (6); J161-J167 (1994).
67. Galland, G., Magnin, L., Carre, B., Larnicol, P., «Best use of bleaching chemicals in deinking lines», ATIP, 56 (1); 10-25 (2002).
68. Wikipedia, The Free Encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Oleic-acid-skeletal.svg>
69. Lévesque, M., «Le recyclage et le désencrage des papiers et des cartons», chapitre 9, Cégep de Trois-Rivières, Département des techniques papetières, p.162-163 (1999).
70. Helming, O., Süß, H.U. Eul, W., «Fibre fractionation and post-treatment of deinked pulp», Pulp & Paper Canada, 90 (10); T391-T397 (1989).
71. Lapierre, L., Pitre, D., Bouchard, J., «Bleaching of dinked recycled pulp: benefits of fiber fractionation», Pulp and Paper Canada, 102 (2); 35-38 (2001).
72. Phan, A., T., «Efficacité des générateurs de peroxyde dans le blanchiment des pâtes désencrées», Thèse de maîtrise en sciences des pâtes et papiers, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Canada, p. 37 et p. 43-44 (2004).
73. Sjöström, L., Camella, A., «Detachment of printing ink from different fibres», Journal of Pulp and Paper Science, 23 (2); J67-J72 (1997).

74. Anonyme, «Le point sur le désencrage», Centre Technique du Papier, Grenoble, France, Doc. No. 5 (janvier/février/mars 1983).
75. Ye, H., «Efficacité du blanchiment au peroxyde et au percarbonate des pâtes mécaniques – Impact sur l’environnement», Thèse de maîtrise en sciences des pâtes et papiers, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Canada, p. 40 (2004).